

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS CON EL FIN DE OBTENER UN
COMBUSTIBLE DE LA BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
TÉRMICA.**

Luis Ariel Riaño Ocampo

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2016**

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS CON EL FIN DE OBTENER UN
COMBUSTIBLE DE LA BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
TÉRMICA**

Luis Ariel Riaño Ocampo

**Trabajo de Grado para Optar al Título de.
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**Director
Luis Gabriel Becerra Riveros
Ingeniero Electromecánico
Especialista en Educación Ambiental
Maestría en Gestión de Energías Renovables**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA**

2016

Nota de aceptación

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Duitama, _____

Dedicatoria.

A Dios por darme la vida, la salud y la fortaleza para seguir cada día adelante, por ayudarme a cumplir mis metas y sueños y por permitirme culminar en feliz término este trabajo de grado.

A mi papá Eliberto Riaño Gonzalez por su apoyo incondicional en todo el sentido de la palabra, también a mi mamá Martha Lucia Ocampo por su apoyo y ayuda desde el cielo.

A mi hijo Dylan por ser el motor de mi vida y mi mayor alegría.

A Mayerly Murcia por su apoyo incondicional en todo momento.

Luis Ariel Riaño Ocampo.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo expresa sus más profundos agradecimientos a las personas que participaron de su elaboración:

Al Ingeniero Luis Gabriel Becerra Riveros, por la dirección y el aporte de sus conocimientos al desarrollo de este trabajo de grado.

Al Ingeniero Melchor Antonio Granados Saavedra, por sus aportes y conocimientos al desarrollo del mismo.

Al Ingeniero Celso Antonio Vargas Gómez, por sus aportes y conocimientos al desarrollo del mismo.

A familiares y amigos que me acompañaron en el transcurso de la carrera universitaria.

Contenido

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABLAS.	VIII
GLOSARIO.	IX
ABREVIATURAS.	XVII
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
1. ESTADO DEL ARTE	9
1.1 La biomasa sobrepasa al petróleo en Suecia, en 2009.....	9
1.2 Planta klemetsrud en Oslo les da energía a 56 mil familias con basura...11	
1.3 Situación mundial	13
1.3.1 Las 2 mayores plantas de biomasa en el mundo.	18
1.3.1.1 Ironbridge. 740 MW. Reino unido.	18
1.3.1.2 Alholmens Kraft. 265 MW. Finlandia.....	18
1.4. Situación en Colombia.....	19
1.4.2 Producción de electricidad en Colombia por fuente de energía 1975-2012 y proyección de la demanda de energía primaria por fuentes.	22
1.4.3 Cambio climático	26
1.4.4 Hidroenergía y su impacto ambiental en Colombia.	27
1.4.5 Cogeneración en Colombia.	28
1.5 Fiebre de bionegocios en el valle del cauca / marzo 26,2015.	29
1.6 Proyecto eco-combustión EMGESA.....	31
1.7 La biomasa en Colombia gana viabilidad con la nueva ley de renovables...32	

1.7.1 La biomasa residual y los “cultivos para energía”	33
1.8 GENSA adelanta proyectos de energías renovables y/o FNCE	34
1.8.1 Generación de energía con residuos sólidos urbanos biodegradables para Inírida y Mitú.....	34
2. EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO.	35
2.1 Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – marzo de 2015 subdirección de energía eléctrica – grupo de generación.....	35
2.1.1 Capacidad instalada.	35
2.1.2 Distribución de la capacidad instalada por departamentos.	37
2.1.3 Factor de emisión (FE) y emisiones de CO ₂ :	39
2.1.4 Emisiones de gases de efecto invernadero	42
2.2 Fuentes no convencionales - FNCE y uso racional de la energía – URE	43
2.2.1 Marco legislativo para las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER) en Colombia.	44
2.2.2 ¿Por qué promover la integración de las FNCER al sistema energético nacional?	47
2.2.3 ¿Qué instrumentos pueden ser usados para promover la integración de las FNCER a las canastas energéticas?	48
2.2.4 ¿Cuál puede ser la estrategia de Colombia para promover la integración de las FNCER a su sistema energético?	49
2.2.5 Energía renovable no convencional en Colombia.	50
2.2.5.1 Incentivar el aprovechamiento y uso de la biomasa	51
3. CRISIS AMBIENTAL.	58
3.1 El ciclo del carbono.	58

3.1.1 Los 6 gases que provocan el efecto invernadero.	60
3.2 Década del 90: Crisis Ambiental.	63
3.2.1 El efecto invernadero.....	63
3.3 La importancia de la variable ambiental.	66
3.4 Emisiones de CO ₂	67
3.5 Emisiones de metano y otros gases de efecto invernadero	69
3.6 Los rellenos sanitarios generan gran cantidad de metano	70
3.6.1 ¿Cómo se produce la basura en el mundo?.....	70
3.6.2 Objetivos del aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos- RSU. .	72
3.7 Consumo anual de carbón por TERMOPAIPA.....	72
4. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA.	74
4.1 Tipos de biomasa	78
4.1.1 Biomasa natural	79
4.1.2 Biomasa residual.....	79
4.1.3 Excedentes agrícolas	80
4.1.4 Cultivos energéticos	80
4.2 Transición energética	81
4.2.1 Características de la bioenergía.....	83
4.2.2 Biocombustibles sólidos para aplicaciones industriales	85
4.3 Centros de acopio de Biomasa:	85
4.3.1 Densificación energética.	89
4.4 Centrales termoeléctricas de biomasa.	90
4.5 El pretratamiento de la biomasa.....	93
4.5.1 Secado de la Biomasa utilizando un deshidratador solar casero.	96

4.5.2 Pérdida de humedad	99
4.5.3 Biomasa Útil.	101
4.6 Tecnologías de recuperación de la energía de los residuos (WTE).	104
4.6.1 Conversión biológica.....	104
4.6.2 Conversión térmica.	104
4.6.3 Créditos de carbono:.....	105
4.6.4 Gate-fee:.....	106
4.7 Los bonos de carbono, una oportunidad para Colombia.	106
4.7.1 ¿Qué son los bonos de carbono?	106
4.7.2 El papel de Colombia.	107
5. DESARROLLO DE LAS VARIABLES PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.	108
5.1 Información disponible de la materia orgánica generada por los principales centros de acopio de productos agrícolas de la región.	108
5.1.1 Cooperativa COOMPRORIENTE	108
5.1.2 Serviaseo Duitama S.A E.S.P.	108
5.1.3 El relleno sanitario para 44 municipios aledaños a Sogamoso.....	109
5.2 Estrategia Ambiental.	111
5.2.1 Beneficios obtenidos por los rellenos sanitarios al implementarse este proyecto de valorización energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos - RSOU.	112
5.2.1.1 Clasificación y destinación de las basuras sólidas.	113
5.2.2 Composición de los residuos.....	115
5.2.3 Estrategia del proyecto pedagógico de conciencia ambiental ciudadana.	118

5.3 Recolección y transporte de la materia orgánica.....	119
5.4 Almacenamiento y secado de la biomasa.	120
5.5 Secado de biomasa.....	120
5.5.1 Secado directo o por convección:	122
5.5.2 Secado a alta temperatura:	123
5.5.3 Secadores rotatorios:	123
5.6 Triturado de la biomasa.....	124
5.7 Poder calorífico de la biomasa obtenida.	125
5.7.1 Potencial energético de la biomasa en Colombia.....	126
5.7.2 Potencial energético de los residuos de podas en Colombia.	127
5.7.3 Análisis comparativo entre el potencial energético generado por los residuos sólidos orgánicos urbanos y los residuos sólidos orgánicos de restos de podas	128
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
6.1 Conclusiones.....	129
6.2 Recomendaciones.....	131
BIBLIOGRAFIA.....	132

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1: GRAFICA DONDE LA BIOMASA SOBREPASÓ AL PETRÓLEO EN SUECIA, EN 2009	10
FIGURA 2: FUENTES DE BIOMASA EN LA GENERACIÓN DE CALOR A NIVEL MUNDIAL, 2015.	15
FIGURA 3: FUENTES DE BIOMASA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A NIVEL MUNDIAL, 2015.....	16
FIGURA 4: GRAFICA DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD MUNDIAL EN 1973.....	17
FIGURA 5: GRAFICA DE LA PROYECCIÓN DEL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA.	17
FIGURA 6: GRAFICA DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COLOMBIA POR FUENTE DE ENERGÍA 2014..	20
FIGURA 7: GRAFICA DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD 1975 (11.275 GWh)	22
FIGURA 8: GRAFICA DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD 2012 (59.988 GWh)	23
FIGURA 9: GRAFICA QUE MUESTRA LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA PRIMARIA POR FUENTE E IMPORTACIONES 2002-2020.....	25
FIGURA 10: GRAFICA DE LA PARTICIPACIÓN POR TECNOLOGÍA EN LA MATRIZ ELÉCTRICA.	36
FIGURA 11: GRAFICA DE LA CAPACIDAD INSTALADA ÁREA CAUCA, CALDAS, CAQUETÁ, HUILA, NARIÑO, PUTUMAYO, QUINDÍO, RISARALDA, TOLIMA Y VALLE DEL CAUCA [MW, %]	38
FIGURA 12: GRAFICA DE LA EVOLUCIÓN DE EMISIONES Y DE FACTOR DE EMISIÓN.	41
FIGURA 13: RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	52
FIGURA 14: RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS.	54
FIGURA 15: EL CICLO DEL CARBONO.....	59
FIGURA 16: TOTAL DE EMISIONES DE GEI POR VOLUMEN.	60
FIGURA 17: EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO ₂ EN LA ATMÓSFERA EN LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS.	63
FIGURA 18: EVOLUCIÓN DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA TIERRA EN LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS ..	64
FIGURA 19: CAUSA FUNDAMENTAL DEL EFECTO INVERNADERO.	65
FIGURA 20: GRAFICA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ EN EL ESCENARIO BASE.	67
FIGURA 21: GRAFICA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ CASO SENSIBILIDAD.....	68
FIGURA 22: GRAFICA DE LA EVOLUCIÓN DE OTROS GASES GEI FRENTE AL CO ₂	69
FIGURA 23: GENERACIÓN DE BASURA URBANA POR PAÍSES SEGÚN INGRESO (% DEL TOTAL) 2015-2025	71
FIGURA 24: PARTICIPACIÓN MUNDIAL DE GENERACIÓN DE BASURA URBANA POR REGIONES (% DEL TOTAL) 2015-2025	71
FIGURA 25: GRAFICA DEL CONSUMO DE CARBÓN EN TERMOPAIPA EN EL AÑO 2014.....	73
FIGURA 26: ILUSTRACIÓN DE LA MATRIZ MUNDIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES.	74
FIGURA 27: ILUSTRACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES: FÓSILES Y RENOVABLES.	77
FIGURA 28: ILUSTRACIÓN DE LAS CLASES DE BIOMASA.	78
FIGURA 29: PRINCIPALES RUTAS Y TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA A ENERGÍA ÚTIL.	84

FIGURA 30: ZONAS DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS.....	87
FIGURA 31: POTENCIAL ENERGÉTICO TOTAL MUNICIPAL ANUAL DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS	
CENTROS DE ACOPIO Y PLAZAS DE MERCADO Y PODA.	88
FIGURA 32: BRIQUETEADO FIGURA 33: TORREFACCIÓN FIGURA 34: PELETIZADO	89
FIGURA 35: PASOS PARA OBTENER LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.....	92
FIGURA 36: FOTO DE LA PRIMERA FIGURA 37: FOTO DE LA SEGUNDA	95
FIGURA 38: GRAFICA DE LA CURVA DE SECADO SOLAR.....	97
FIGURA 39: FOTO TERCERA FASE DE TRATAMIENTO DE LA MO	98
FIGURA 40: FOTO DE LA CUARTA FASE DE TRATAMIENTO DE LA MO	99
FIGURA 41: GRAFICA DE LA PERDIDA DE HUMEDAD EN CADA UNA DE LAS FASES DEL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	
ORGÁNICOS URBANOS.....	100
FIGURA 42: GRAFICA DEL PORCENTAJE DE BIOMASA ÚTIL.....	102
FIGURA 43: FOTO NÚCLEO DE BIOMASA AL ROJO VIVO.	103
FIGURA 44: FOTO DE LA BIOMASA EN COMBUSTIÓN.	103
FIGURA 45: OPCIONES DE CONVERSIÓN DE BIOMASA A FORMAS SECUNDARIAS DE ENERGÍA	105
FIGURA 46: CÓDIGO DE COLORES GTC 024 DEL ICONTEC.....	113
FIGURA 47: GRAFICA DE LA COMPOSICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	116
FIGURA 48: ESTRUCTURA PARA LA COMUNICACIÓN DEL PROYECTO PEDAGÓGICO A TODA LA COMUNIDAD.	119
FIGURA 49: FOTO DEL COMBUSTIBLE ORGÁNICO.	124

LISTA DE TABLAS.

TABLA 1: CAPACIDAD INSTALADA EN CADA REGIÓN POR TIPO DE RECURSO [MW]	37
TABLA 2: EMISIONES CO ₂ EQUIVALENTE GEI GENERACIÓN ELÉCTRICA	40
TABLA 3: DATOS TÉCNICOS DEL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.	94
TABLA 4: TEMPERATURAS ALCANZADAS DENTRO DEL DESHIDRATADOR SOLAR CASERO.	96
TABLA 5: PERDIDA DE HUMEDAD Y VOLUMEN EN CADA UNA DE LAS FASES DEL PROCESO.	100
TABLA 6: PORCENTAJE DE COMBUSTIBLE ORGÁNICO OBTENIDO DEL PROCESO.	101
TABLA 7: COMPOSICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.	116
TABLA 8: PODER CALORÍFICO INFERIOR PARA BIOMASA RESIDUAL EN COLOMBIA.....	125
TABLA 9: POTENCIAL ENERGÉTICO MUNICIPAL DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS DE CENTROS DE ACOPIO Y PLAZAS DE MERCADO.....	126
TABLA 10: POTENCIAL ENERGÉTICO MUNICIPAL DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS DE PODA.....	127
TABLA 11: POTENCIAL ENERGÉTICO PARA LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS PARA DOCE CIUDADES DE COLOMBIA.	128

GLOSARIO.

Alcoxi: En química, un grupo alcoxi es un grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno, es decir, RO-. En donde R es el grupo alquilo.

Anaerobias: Las bacterias anaerobias son microorganismos que son capaces de sobrevivir y multiplicarse en ambientes que no tienen oxígeno.

Antropogénicas: Se llama influencia antrópica o antropogénica a aquellos efectos producidos por las actividades humanas en el clima de la Tierra.

Atañer: verbo intransitivo; interesar algo a alguien. *No le atañen los temas políticos.*

Autótrofas: Entendemos por autótrofo o autótrofa a los seres vivos que se alimentan por sí mismos y que producen en su interior su propio alimento, lo cual quiere decir que no necesitan buscarlo en el exterior. Sólo las plantas pueden, de este modo, considerarse seres autótrofos.

Biocombustibles: son componentes derivados a partir de biomasa, es decir, organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos. Los biocomponentes actuales proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas.

Todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se emite en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman.

Biocombustibles de primera generación: Los biocombustibles de primera generación (Bioetanol, Biodiesel y Biogás) son aquéllos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana, para diferenciarlos de la segunda generación que no compite con la producción de alimentos.

Biocombustibles de segunda generación: Los biocombustibles de segunda generación se obtienen a partir de biomasa lignocelulosa. Esta biomasa procede de residuos de cultivos, de subproductos de las industrias alimentaria y forestal, o de cultivos específicamente destinados a su obtención tales como las algas o la Jatropha. A diferencia de los de primera generación, estos residuos no sólo no tienen valor económico en el contexto en el que se generan, sino que suelen provocar problemas ambientales durante su eliminación. Los cultivos son abundantes y de rápido crecimiento en ciclos cortos, por lo que las tierras se pueden recuperar fácilmente para el uso que se considere o dedicarlos específicamente a la producción de biomasa con fines energéticos.

Bioenergía: Es un tipo de energía renovable que se produce a partir del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos.

Bionegocios: Los Bionegocios, Biocomercio o mercado verde es el conjunto de actividades de recolección, producción, procesamiento y comercialización de bienes y servicios derivados de la biodiversidad nativa, bajo criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica.

Bioproductos : Los bioproductos, son el resultado de la aplicación de la biotecnología dentro del ámbito industrial (biotecnología blanca o industrial), dónde, mediante procesos Biológicos, Bioquímicos, Físicos, Térmicos de: Fermentación, Esterificación, Transesterificación, Digestión, Hidrólisis; con la incorporación de enzimas, microorganismos, bacterias, etc., se transforma la biomasa (cultivos de no alimentación, masa forestal, residuos vegetales, etc.) en bioproductos como: los bioplásticos, las biopinturas, los biolubricantes, los biomateriales de la construcción, la bioenergía, los biocombustibles, etc.

Biogás: gas producido por la descomposición de materia orgánica.

Bonos de carbono: son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero.

Briquetas: Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.

Briqueteado: Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas. Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.

Cap and trade: El sistema “cap-and-trade” es el mecanismo de mercado intraeuropeo que establece la Directiva Europea sobre Comercio de Emisiones para incentivar la reducción de emisiones de CO₂ al mínimo coste en determinados sectores productivos (generación de electricidad, coquerías, acererías, industria cementera, industria azulejera, etc.).

Centrales filo de agua de pequeño tamaño: Son plantas más pequeñas, que requieren una inversión mucho menor que la de una hidroeléctrica como Ituango, El Quimbo o Sogamoso y que se pueden ubicar en aguas con menor caudal y construirse en menor tiempo.

Estas centrales se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe emplearse en el instante en que se dispone de ella para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según la época del año y en temporadas de precipitaciones abundantes desarrolla su potencia máxima y dejan pasar el agua excedente, mientras que en la temporada seca la potencia disminuye, llegando a ser casi nula en algunos ríos en la época del estío.

Co-combustión: La co-combustión consiste en la combustión conjunta de dos combustibles en un mismo dispositivo. Actualmente, y ante el creciente empuje de la biomasa como fuente renovable de energía, se denomina cocombustión a la combustión de biomasa (u otro combustible alternativo) substituyendo parte del combustible fósil original en una caldera u horno diseñada para la operación únicamente con combustible sólido fósil.

Cogeneración: es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria).

Combustión: Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

Coníferas: Se entiende por conífera a todos aquellos árboles o vegetales que crecen con la forma de cono y que mantienen esa forma a lo largo de su existencia.

Cynara: Cynara es un género de plantas.

District heatings: (Calefacción urbana) es aquella en que el calor (la energía térmica) se distribuye por una red urbana, del mismo modo en que se hace con el gas, el agua, la electricidad o las telecomunicaciones.

Digestión anaeróbica: La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado).

Energía primaria: Una fuente de energía primaria es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Consiste en la energía contenida en los combustibles crudos, la energía solar, la eólica, la geotérmica y otras formas de energía que constituyen una entrada al sistema. Si no es utilizable directamente, debe ser transformada en una fuente de energía secundaria (electricidad, calor, etc.).

Gasificación: La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno).

Ingente: Muy grande, enorme.

Mecanismos de Desarrollo Limpio: Es uno de los tres mecanismos establecidos en el Protocolo de Kioto para facilitar la ejecución de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por las Partes que son países en vías de desarrollo.

Morbilidad: Cantidad de personas que enferman en un lugar y periodo de tiempo determinado en relación con el total de la población.

Oleaginosas: El concepto se emplea para calificar a aquello que es aceitoso. Cabe destacar, por otra parte, que el aceite es una sustancia que se obtiene mediante el procesamiento de diversos frutos o semillas.

Paradigma: su significado en el terreno de la psicología se refiere a aceptaciones de ideas, pensamientos, creencias incorporadas generalmente durante nuestra primera etapa de vida y que se aceptan como verdaderas o falsas sin ponerlas a prueba en un nuevo análisis; en cambio, su significado contemporáneo en la comunidad científica se refiere al conjunto de prácticas o teorías que definen una disciplina científica, luego de haber sido, y siendo aún puestas, a numerosas pruebas y análisis a través del tiempo, y por ello aún se mantienen vigentes.

Pellet: o pelet es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. El término es utilizado para referirse a diferentes materiales.

Pirólisis: La pirólisis es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno (y de cualquier halógeno). Involucra cambios simultáneos de composición química y estado físico, los cuales son irreversibles.

La pirólisis extrema, que solo deja carbono como residuo, se llama carbonización. La pirólisis es un caso especial de termólisis.

Un ejemplo de pirólisis es la destrucción de neumáticos usados. En este contexto, la pirólisis es la degradación del caucho de la rueda mediante el calor en ausencia de oxígeno.

Purines: son cualquiera de los residuos de origen orgánico, como aguas residuales y restos de vegetales, cosechas, semillas, concentraciones de animales muertos, pesca, comida, excrementos sólidos o líquidos, o mezcla de ellos, con capacidad de fermentar o fermentados que tienen impacto medioambiental. Tradicionalmente se han usado para producir abono y compost.

Reactividad química: En química, la reactividad de una especie química es su capacidad para reaccionar en presencia de otras sustancias (de diferente dominio químico) químicas o reactivas. Se puede distinguir entre la reactividad termodinámica y la reactividad cinética.

Residuos de explotaciones ganaderas: Los residuos ganaderos se originan como consecuencia de la agrupación de especies animales al servicio del hombre con el propósito de aprovechar sus productos. Durante los últimos años, se ha presentado un incremento de las explotaciones intensivas frente a las extensivas, siendo las intensivas responsables de generar una elevada carga contaminante de forma muy concentrada.

Con la aplicación de tecnologías y tratamientos amigables con el medio ambiente, se evidencia la optimización de los residuos y desechos generados por el sector ganadero, hasta el punto de crear energía eléctrica aprovechable en forma eficiente y rentable para la empresa ganadera.

Torrefactar: Tostar o someter una sustancia a un fuego vivo que produce una carbonización incompleta.

Transesterificación: La transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

Turba: es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

Ubicua: Que está presente en muchos lugares y situaciones y da la impresión de que está en todas partes.

ABREVIATURAS.

AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación.

CAEM: Corporación Empresarial Ambiental.

CAR: Corporaciones Autónomas Regionales.

CER: Certificados de Emisión Reducida

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de Carbono.

Conicet: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Cinvestav: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados.

CRA: Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico.

FAO: Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FE: Factor de Emisión.

FECOC: Factor de Emisión para Combustibles Colombianos.

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía.

FN CER: Fuentes No Convencionales de Energías Renovables.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GWP: Potencial de Calentamiento Global

Inta: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

IEA: International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)

MDL: Mecanismos de Desarrollo Limpio.

MSW: por su sigla en inglés: Municipal Solid Waste o residuos sólidos municipales

Mtep: Megatoneladas equivalentes de petróleo.

N₂O: Óxido de Nitrógeno.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

RSOU: Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos.

SINA: Sistema Nacional Ambiental.

SIN: Sistema Interconectado Nacional.

SNCTI: Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

Svebio: Asociación Sueca de la Bioenergía (Svebio).

UE: Unión Europea.

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética.

URE: Uso Racional de la Energía.

WTE: Waste-to-Energy o recuperación de energía de los residuos.

RESUMEN

La conversión de desechos orgánicos en combustible, además de proporcionar energía, reduce los daños ambientales asociados a su inadecuada disposición (por ejemplo, la contaminación del aire y el agua, aumento de plagas y enfermedades, deterioro del paisaje y calidad de vida de las poblaciones humanas). Producida y utilizada sosteniblemente, la bioenergía contribuye a la mitigación del cambio climático, porque sustituye a los combustibles fósiles, mantiene o incrementa almacenes de carbono y evita la deforestación. Cuando se utilizan residuos, se evita también la emisión de metano, que es un potente GEI.

A diferencia de otras fuentes de energía, la biomasa tiene la posibilidad de absorber las emisiones de CO₂ que se generan durante su procesamiento y uso final, mediante la fotosíntesis. Esto la hace, en principio, una fuente neutral en términos de las emisiones de CO₂. Sin embargo, hay emisiones adicionales de CO₂ y de otros GEI (CH₄, N₂O) a lo largo del ciclo de vida de la producción de bioenergéticos, debidas al uso de fertilizantes, pesticidas y combustibles fósiles durante el cultivo, la cosecha, el transporte, la conversión del insumo, y también emisiones de CO₂ por la liberación de carbono cuando ocurren cambios de uso de suelo directos o indirectos para establecer cultivos bioenergéticos.

El primer capítulo hace referencia a la situación energética mundial y regional de las energías renovables provenientes de la biomasa y su impacto en Colombia y el mundo. Actualmente se presenta un creciente temor por la seguridad energética ante un futuro con disminución de reservas de hidrocarburos y a la vez el considerable incremento del consumo de energía para impulsar el rápido

crecimiento de economías en transición, con el consecuente aumento de los costos.

El segundo capítulo muestra la legislación Colombiana y los diferentes tratados internacionales que buscan reducir las emisiones de dióxido de carbono, mediante la implementación de energías renovables.

En el tercer capítulo se muestra el creciente impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Panorama al que se suma la preocupación, cada vez mejor fundamentada, por los impactos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles y la creciente toma de conciencia de la población sobre la necesidad de preservar el ambiente.

El cuarto capítulo muestra el aprovechamiento energético de la biomasa, la cual puede llevarnos a una transición energética al ser un excelente sustituto de los combustibles fósiles, aportando de esta manera mecanismos de desarrollo limpio para el sector energético colombiano.

En el quinto capítulo se verá el sistema para el procesamiento de la biomasa desde la recolección de residuos sólidos orgánicos, también se realizará un planteamiento para separación en la fuente y se seguirá por las diferentes etapas y fases del proceso para la generación del combustible orgánico.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se presenta un creciente temor por la seguridad energética ante un futuro con disminución de reservas de hidrocarburos y a la vez el considerable incremento del consumo de energía para impulsar el rápido crecimiento de economías en transición, con el consecuente aumento de los costos. Panorama al que se suma la preocupación mundial, cada vez mejor fundamentada, por los impactos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles y la creciente toma de conciencia de la población sobre la necesidad de preservar el ambiente.

La basura constituye uno de los temas ambientales más importantes para todo país. Si cada vez más personas en todo el mundo, apoyan el estilo de vida de Reducir, Reutilizar y Reciclar, se producirán mucho menos residuos. Mejor todavía si podemos de alguna forma, transformar todos los residuos producidos, en energía limpia y otros productos reutilizables. No sólo los vertederos de residuos serán una cosa del pasado, también se avanzará en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Adicionalmente, el desarrollo y uso de energías renovables son herramientas importantes para la mitigación y adaptación al cambio climático en la medida en que reducen gases de efecto invernadero (GEI) y diversifican la canasta energética de los países.

En Colombia el tema es primordial, ya que el país y su red de generación eléctrica es altamente vulnerable al cambio climático. En 2012 el parque de generación eléctrica estaba compuesto en 67% por generación hidroeléctrica y 32,73% por generación térmica. Esta composición hace que la generación eléctrica en Colombia tenga una menor huella de carbono que otros países, pero en los años

en los que la generación térmica ha tenido una alta participación por escasez hídrica, la intensidad de emisiones de carbono ha aumentado. Es así que ante escenarios de cambio climático con fenómenos más marcados de El Niño puede aumentarse la producción a partir de centrales térmicas que generan un mayor nivel de emisiones de GEI. (UPME, 2012).¹

La biomasa fue la primera fuente de energía no animada utilizada por el hombre, y se mantuvo como la más importante hasta el comienzo de la revolución industrial. Desde el siglo XIX, nuevas tecnologías, como las máquinas de vapor y los motores de combustión interna, la desplazaron parcialmente al utilizar combustibles de mayor densidad energética como el carbón y posteriormente el petróleo. Sin embargo, desde finales del siglo XX la bioenergía ha vuelto a ser considerada como una opción clave en la transición energética, en vista de la inseguridad y altos costos del abastecimiento de petróleo, los riesgos asociados a la energía nuclear y los impactos ambientales negativos del uso de fuentes fósiles.

La utilización de la biomasa, frente al petróleo y el carbón, presenta ventajas comparativas que la hacen atractiva para su utilización en procesos de generación de energía térmica, motriz o eléctrica, bien sea en sistemas centralizados, en sistemas de generación de energía distribuida o para zonas no interconectadas.

Actualmente la biomasa se está utilizando principalmente para producir electricidad e inyectarla a la red, mediante plantas de cogeneración eléctrica que

¹ GARCÍA, Helena. CORREDOR, Alejandra. CALDERÓN, Laura. GÓMEZ, Miguel. Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf

aprovechan los residuos energéticos (bagazo de caña, cascarilla de arroz, cortezas), de otros procesos industriales tal como la producción de celulosa.

La biomasa está formada por leña, arbustos, residuos forestales, restos de poda, residuos agrícolas como la paja, residuos de industrias madereras, papeleras y agroalimentarias, estiércol, residuos de explotaciones agroganaderas, residuos sólidos urbanos y aguas residuales urbanas entre otros.

La mayor parte de estos componentes, por no decir la totalidad, puede utilizarse como combustible, ya sea de forma directa (quemándolos) o transformándolos a otras formas de combustible como biogás o biocombustibles.

Según (Masera Cerutti, 2011) La biomasa es una fuente de energía renovable y limpia, con un portafolio extenso de tecnologías maduras para la mayoría de sus distintas aplicaciones. A nivel internacional, la bioenergía, o energía obtenida de la biomasa, representa el 10% del consumo total de energía y 77% de las energías renovables. Se estima que para el año 2035 podría contribuir con cerca del 25% de la energía requerida en el mundo, y constituir así uno de los pilares de la transición a fuentes renovables de energía.²

Cuando se combustiona la biomasa vegetal, se libera CO₂ a la atmósfera, el mismo CO₂ que absorbió de ella durante su crecimiento, si se trata de biomasa animal, herbívoro o carnívoro de cualquier orden, el CO₂ siempre provendrá de fuentes vegetales o autótrofas.

² MASERA Omar, CORALLI Fabio, GARCÍA Carlos, RIEGELHAUPT Enrique, ARIAS Teresita, VEGA Julián, DÍAZ Rodolfo, GUERRERO Gabriela, CECOTTI Laura. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectivas. [En línea]. 1ª ed. México, 2011. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

Si se consume de manera sostenible, el ciclo del carbono se cierra y el nivel de CO₂ a la atmósfera se mantiene constante, de forma que su utilización no contribuye a generar el cambio climático.

Y no sólo eso, sino que con su consumo se sustituye el consumo de combustibles fósiles, evitando así generar emisiones que no formaban parte de la atmósfera anteriormente y que son causantes del cambio climático.

Además, emplear biomasa como combustible es beneficioso para el entorno, elimina residuos ayudando a disminuir el riesgo de incendio y la acumulación de desechos orgánicos que al descomponerse generan gas metano y dióxido de carbono, y trata aguas residuales que son fuente de contaminación del subsuelo y de aguas subterráneas.

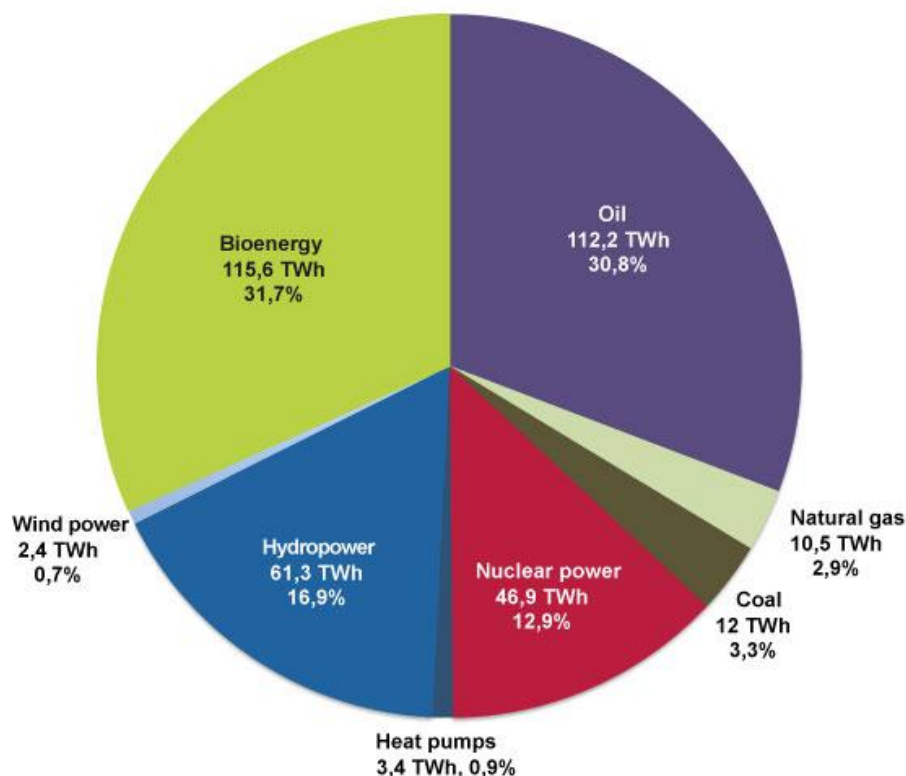
1. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se muestra la evolución y el estado de las energías renovables provenientes de la biomasa y su impacto en Colombia y el mundo.

1.1 La biomasa sobrepasa al petróleo en Suecia, en 2009.

La cantidad de bioenergía obtenida de la biomasa que consumieron los ciudadanos suecos en 2009 sobrepasó a la obtenida del petróleo. Según estadísticas elaboradas por la Agencia Sueca de la Energía y presentadas recientemente por SVEBIO, la Asociación Sueca de la Bioenergía, el consumo de bioenergía fue del 31,8% del total, mientras que el consumo de petróleo se quedó en el 30,9%. Todo un hito. Svebio ya había mostrado que la bioenergía obtenida de la biomasa, proporcionaba más energía que la hidroeléctrica y la nuclear juntas. (Ver Figura 1)

Figura 1: Grafica donde la biomasa sobrepasó al petróleo en Suecia, en 2009



Fuente 1: <http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/la-bioenergia-sobrepasa-al-petroleo-en-suecia-255>

El análisis de Svebio indica que el uso de energías renovables en Suecia ha alcanzado ya un nivel muy elevado en comparación con la obligación del alcanzar un 49% en 2020 que impone la UE. A día de hoy, el 46,3% de la energía consumida en el país proviene de fuentes renovables como la biomas y la energía solar. El gobierno sueco se encuentra cerca también de su objetivo de alcanzar el 50% de renovables en 2020.³

³ SANZ, David. En Suecia se produce más energía procedente de biomasa que de petróleo. [En línea]. 1ª ed. 2010. [Citado 15-Noviembre-2015]. Disponible en internet: <http://www.ecologiaverde.com/en-suecia-se-produce-mas-energia-procedente-de-biomasa-que-de-petroleo/>

1.2 Planta klemetsrud en Oslo les da energía a 56 mil familias con basura.

El gobierno de Oslo, la capital de Noruega, ha creado la planta de Klemetsrud que transforma la basura del país y del Reino Unido en energía y calefacción.

Pero para hacer esta conversión con éxito, se pasa por una larga cadena de procesos. Uno de ellos es la pre-recolección de todo aquello que se puede reciclar.

Para dar una idea de la magnitud de basura que se reutiliza, luego de filtrar todo aquello reciclable, la planta trabaja con aproximadamente 300 toneladas diarias de residuos no reutilizables. Ellos no lo ven como un residuo, lo ven como energía.

Una provechosa inversión: “Cuatro toneladas de residuos tienen la misma energía que una tonelada de combustible”, afirma Pal Mikkelsen, director de la agencia Waste-to-energy para BBC Mundo. Y un kilogramo de residuos de alimentos produce la mitad de un litro de combustible.

La conversión de basura implica, a su vez, una inversión de energía: en transporte de residuos, funcionamiento de la planta, etc. Sin embargo, esta es mínima en comparación con la energía que se obtiene al final del proceso.

Con una pequeña parte de la carga máxima de un camión de basura de una ciudad británica (de Leeds o Bristol, ciudades que exportan su basura a Oslo) se puede calentar una casa de Oslo por medio año.

Noruega está ayudando a deshacerse de algunas de las basuras de ciudades como Leeds y Bristol, en Reino Unido. Ambos exportan residuos a Oslo. En lugar de pagar por llevarlos a un vertedero de basura después de que los elementos reciclables han sido retirados, lo que hace es pagarle a Oslo para que se ocupe de ellos.

Así, Oslo recibe dinero por recibir la basura y obtiene además la energía a partir de ella.

En total, 56 mil hogares pueden tener suministro de energía y calefacción proveniente de la planta cuando esta alcanza su capacidad completa.

Pasos para generar energía: Los desechos que llegan a la planta son quemados a altas temperaturas. El calor producido por esta quema hierve agua y crea un vapor que impulsa una turbina que, a su vez, genera electricidad.

Además de la energía producida, el agua hirviendo se canaliza hacia casas y escuelas de Oslo y sirve como calefacción durante los duros inviernos.

De manera paralela, la ciudad realiza otras formas de generar energía a partir de residuos. Una de ellas es el biogás extraído de la materia orgánica en descomposición, el cual hace funcionar toda una línea de bus.

Un kilogramo de residuos de alimentos produce la mitad de un litro de combustible orgánico o biogás. Con todos los residuos orgánicos que tienen podrían darle energía a 135 buses durante un año entero en Oslo.

Una ciudad más verde: El programa Waste Management Strategy se puso en marcha en el 2006, con el objetivo de incrementar la eficiencia energética de la ciudad. Lo que puso a Oslo como finalista al premio Liderazgo Climático y Ciudad otorgado por C40 y Siemens.

Además de evitar el uso de combustibles fósiles, este procedimiento permite consumir parte del relleno sanitario e impedir que de él se desprendan gases que contribuyen al cambio climático.

Si los gases producto de la combustión son manejados adecuadamente, se cree que la conversión de basura en energía reduciría a la mitad las emisiones de carbono en los próximos 20 años.⁴

1.3 Situación mundial

En 1973 la producción neta de electricidad mundial fue de 6.139 TWh. La Agencia Internacional de Energía (AIE) prevé que para el año 2030, el porcentaje de electricidad generado con combustibles fósiles sea del 66%, mostrando que no solo no disminuye esta fuente primaria, sino que aumenta ligeramente en este periodo de tiempo. En cambio, la energía nuclear esta entrampada en una discusión polémica y política y, aunque en algunos países, se continúa utilizando e incluso crece su participación, en la mayoría de los países desarrollados no se han

⁴ PRICE, Matthew. Cómo Noruega convierte basura en combustible ecológico. [En línea]. 1ª ed. Oslo: BBC, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/09/130923_ciencia_noruega_basura_energia_ng.shtml

instalado nuevas centrales y en algunos de ellos se está esperando llegar al final de su vida útil para desmantelarlas.⁵

La energía hidroeléctrica es actualmente la principal fuente renovable de generación de electricidad en el mundo y en el 2010 cubrió un 16 % de las necesidades mundiales de electricidad (AIE, 2012a). Se espera que su aporte a la generación eléctrica total se sitúe en torno al 15 % hasta el año 2035 (AIE, 2012a), manteniendo el ritmo a la par que la tasa de crecimiento global de generación de electricidad.⁶

Las previsiones establecidas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático establecen que antes de 2100 la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía debería estar entre el 25% y el 46%.

La oferta de energía procedente de residuos municipales renovables en la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) ha pasado de 4,6 Mtep en 1990 a 13,63 Mtep en 2010, lo cual supone un crecimiento del 196,3%, pasando de aportar el 3,5% en 1990 al 5,8% en 2010 a la oferta de bioenergía en la OCDE.⁷ Para el año 2015, el aporte de bioenergía procedente de los residuos sólidos municipales (MSW) para la generación de calor a nivel mundial fue del

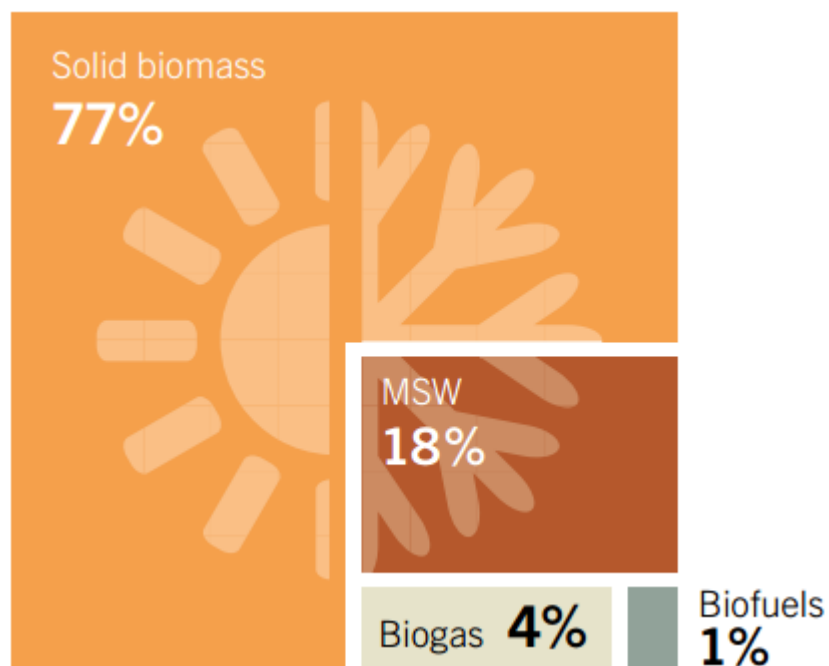
⁵ GONZALEZ, José. La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. [En línea]. 1ª ed. México, 2009. [Citado 26-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.ineel.mx/boletin042009/divulga.pdf>

⁶ KONCAGÜL, Engin. CONNOR, Richard. TRAN, Michael. Agua y Energía Datos y Estadísticas, Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014. [En línea]. 1ª ed. UNESCO, 2014. [Citado 26-08-2016]. Disponible en internet: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf>

⁷ RENOVATEC, Noticias. Situación actual de la Biomasa en el Mundo. [En línea]. 1ª ed. España, 2010. [Citado 27-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.energiza.org/eolica/20-biomasa/953-situaci%C3%B3n-actual-de-la-biomasa-en-el-mundo>

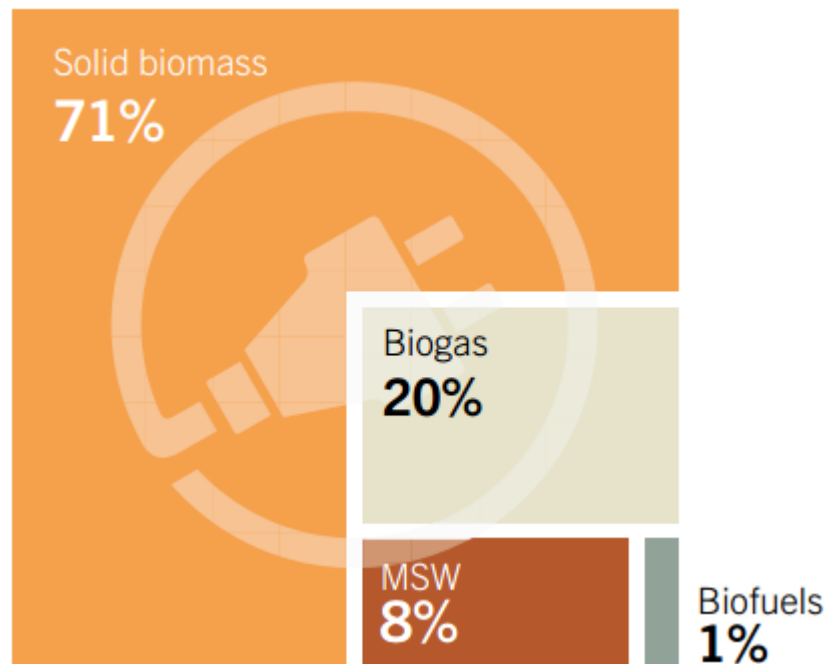
18%, mientras que para la generación de electricidad a nivel mundial fue del 8%, tal como se puede apreciar en la Figura 2 y 3.

Figura 2: Fuentes de biomasa en la generación de calor a nivel mundial, 2015.



Fuente 2: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf

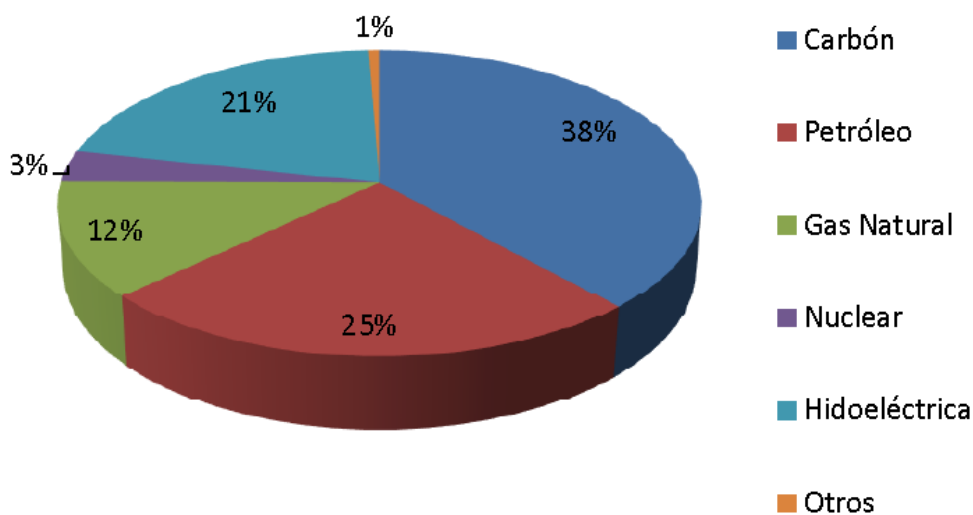
Figura 3: Fuentes de biomasa en la generación de electricidad a nivel mundial, 2015.



Fuente 3: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf

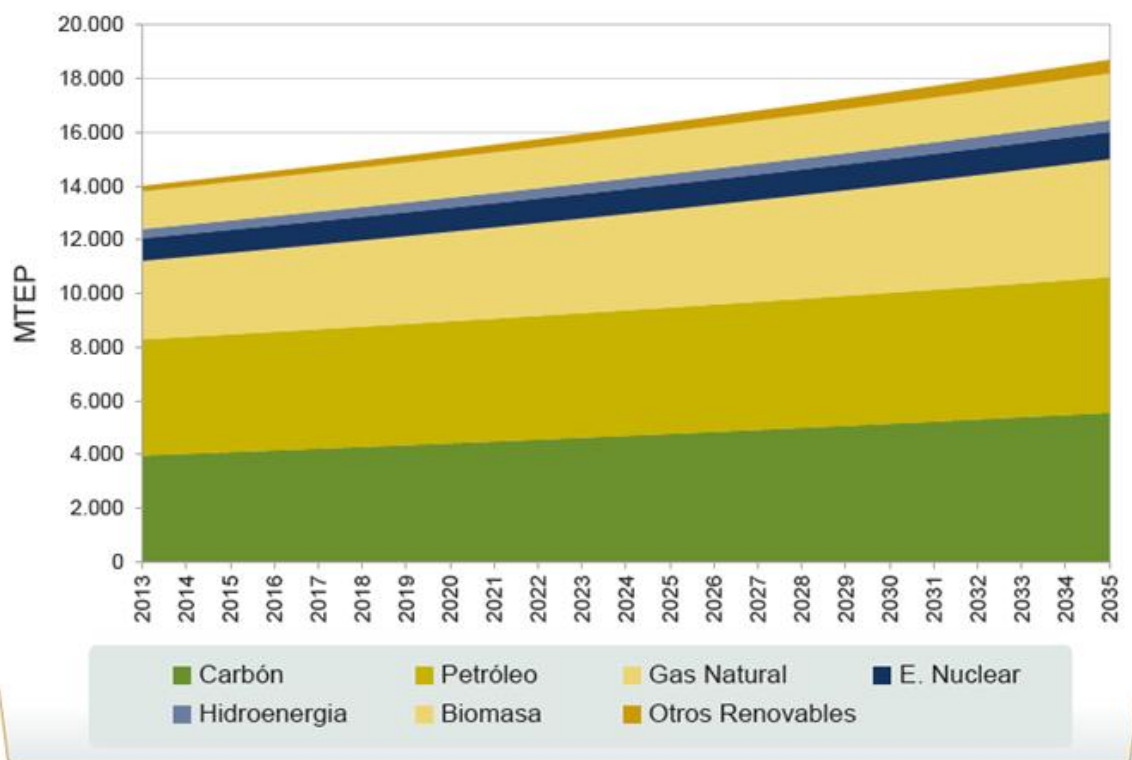
Como se puede ver en las Figuras 4 y 5, muestran el cambio de participación por fuentes de generación desde 1973 y se realiza una proyección hasta el año 2035.

Figura 4: Grafica de las Fuentes de generación de producción de electricidad mundial en 1973.



Fuente de grafica 1: (UPME, 2012)

Figura 5: Grafica de la proyección del consumo mundial de energía primaria.



Fuente de grafica 2: World Energy Outlook 2012.

1.3.1 Las 2 mayores plantas de biomasa en el mundo.

1.3.1.1 Ironbridge. 740 MW. Reino unido.

La planta de biomasa de Ironbridge, con una capacidad de 740 MW, está localizada en Severn Gorge, Reino Unido, y es la planta de energía de biomasa pura más grande del mundo. Las instalaciones, que hace años fueron utilizadas como una central eléctrica de carbón con una capacidad instalada de 1.000 MW, fue reconvertida junto a las dos unidades de la central para la generación de energía a partir de biomasa en 2013. La planta es actualmente propiedad de la empresa británica E.ON, quien además es la encargada de su operación empleando pellets de madera para generar energía de biomasa.

1.3.1.2 Alholmens Kraft. 265 MW. Finlandia.

La planta Alholmens Kraft, de 265 MW, está ubicada en las instalaciones de la fábrica de papel UPM-Kymmene en Alholmen, Jakobstad, Finlandia, es la segunda planta de energía de biomasa más grande del mundo alimentada con corteza, serrín, residuos de madera, biocombustibles comerciales y turba. La planta entró en funcionamiento en enero de 2002, y suministra también 100 MW de calor a la papelera y 60 MW de calefacción urbana para los habitantes de Jakobstad. La planta Kraft Alholmens diseñada por los ingenieros de Metso, utiliza una caldera de lecho fluidizado circulante suministrada por la compañía Kvaerner Pulping. Las instalaciones son operadas por Oy Alholmens Kraft, quien además es la propietaria junto a Perhonjoki, Revon Sahko Oy y Skelleftea Kraft.⁸

⁸ ROCA, José A. Las 10 mayores plantas de Biomasa. [En línea]. 1a ed. España: El Periódico de la Energía. 2016. [Citado 27-02-2016]. Disponible en internet: <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>

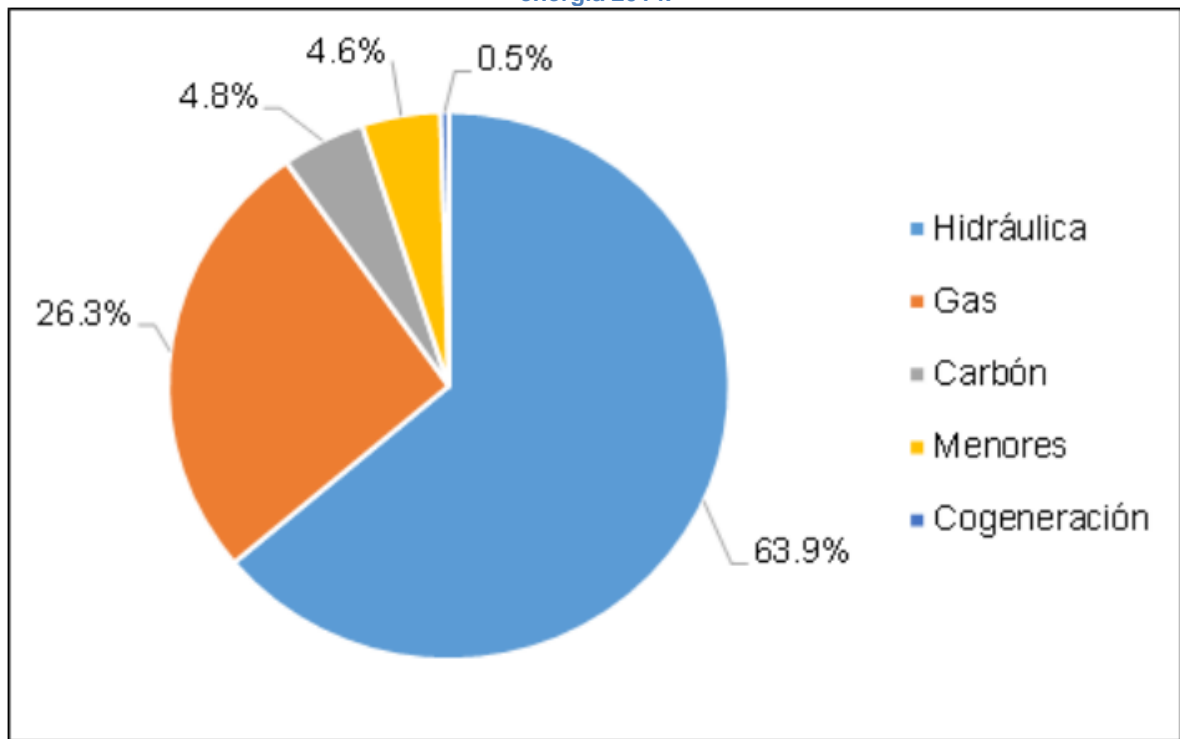
1.4. Situación en Colombia.

Colombia posee una ubicación privilegiada que le permite la explotación de recursos hídricos para la generación de electricidad. Desde los comienzos de la producción de electricidad en el país se aprovechó la abundante presencia de cuencas hídricas y el pronunciado relieve del país; condiciones ideales para el aprovechamiento de este recurso. Es debido a esta condición que la matriz eléctrica colombiana presenta una composición totalmente diferente a la matriz eléctrica mundial, en la cual predomina la generación a partir de combustibles fósiles. En el caso colombiano esta es dominada por la generación hídrica.

El mix de generación eléctrica colombiano se concentra principalmente en dos fuentes, la hidroelectricidad con una participación del 63.9% (67.7% incluyendo menores hidráulicas) y la generación a gas natural que representa 26.3% de la capacidad instalada en 2014. Tal concentración hace que el sistema pueda ser vulnerable en el corto plazo debido a los ciclos hidrológicos en el país y su variabilidad, y en el mediano y largo plazo, a la disponibilidad de gas natural, por hallazgos en el país o por disponibilidad de importaciones.

Se observa igualmente una baja capacidad instalada en cogeneración con bagazo debido a que muchas de estas plantas son cogeneradoras y/o utilizan otros combustibles por lo que es probable que reporten otro combustible diferente al bagazo o no reporten la totalidad de su capacidad instalada. (Ver Figura 6)

Figura 6: Grafica de la Capacidad instalada para generación eléctrica en Colombia por fuente de energía 2014.



Fuente de datos: UPME
Fuente de gráfica: UPME

De hecho, en el Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático (2013) contratado por la UPME, después de evaluar los diversos impactos de la variabilidad climática se llama la atención sobre los posibles cambios en la oferta hídrica por cuenca. Si bien la energía firme de las plantas hidráulicas actuales permite asegurar el abastecimiento, la expansión respaldada principalmente en esta fuente puede no ser la más deseable, y no solo por los riesgos de modificación de ciclos hidrológicos y reducción de las precipitaciones, sino por las dificultades y restricciones de entorno para la construcción de este tipo de infraestructura. Adicionalmente, con el fin de garantizar la confiabilidad del

suministro, teniendo en cuenta la eficiencia en el uso de los recursos energéticos y de infraestructura (la red eléctrica), es preciso considerar además de medidas de adaptación ante los efectos del cambio del clima, otras fuentes de energía y sus tecnologías asociadas para diversificar la matriz de generación eléctrica. Lo anterior, requiere que en la planeación de la expansión de generación se siga contemplando un balance entre la minimización del costo de cada una de las tecnologías así como del riesgo de racionamiento. Por lo anterior es preciso que se instalen otras fuentes de energía para lograr una diversificación de la canasta y garantizar un suministro de energía confiable, pero adicionalmente que sea sostenible. La reciente Ley 1715 de 2014, es un primer paso para lograr este objetivo, dado que busca promover la integración de fuentes no convencionales (FNCE), principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional. En particular se busca la inclusión de plantas eólicas, generación solar fotovoltaica, geotermia y generación a partir de la biomasa en el mix eléctrico del país.⁹

La generación eléctrica está dominada por la generación hídrica como puede verse en las siguientes Gráficas que compara la producción de energía eléctrica en 1975 y en 2012.

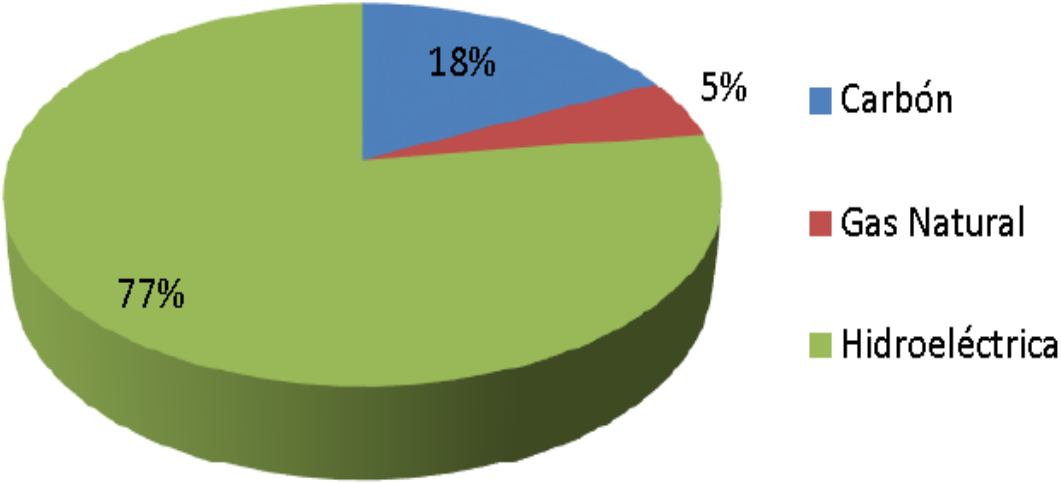
Como se puede ver, la matriz eléctrica colombiana ha mantenido una composición muy similar desde hace 30 años, con casi 80% de generación hidroeléctrica y con una participación alrededor del 20% de energía térmica. La diferencia entre un año y otro es la inversión que se produjo entre los aportes de generación con carbón

⁹ CADENA, Ángela. RODRÍGUEZ, Alberto. HERRERA, Beatriz. GARCÍA, Carlos. CÁRDENAS, Sara. MOJICA, Sandra. BRICEÑO, Roberto. BEJARANO, Juan. PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

frente a los del gas natural: en 1975 el carbón aportaba 18% y el gas 5% y en 2012 el aporte del carbón fue 3,77% y el gas 16,48%, esto como resultado del programa de masificación del gas y los yacimientos encontrados en este periodo.

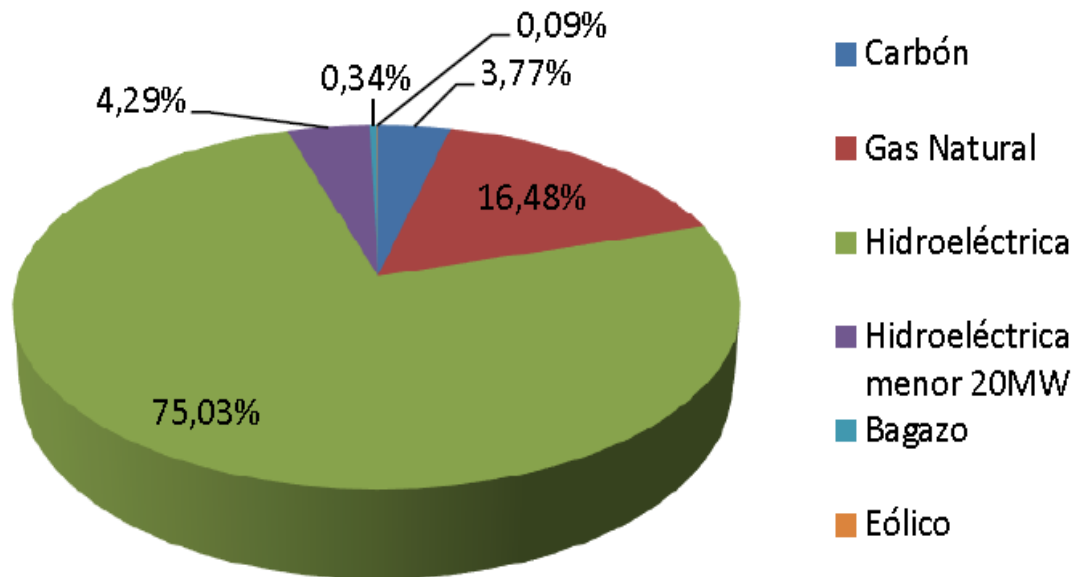
1.4.2 Producción de electricidad en Colombia por fuente de energía 1975-2012 y proyección de la demanda de energía primaria por fuentes.

Figura 7: Grafica de la Producción de electricidad 1975 (11.275 GWh)



Fuente de grafica 3: (UPME, 2012)

Figura 8: Grafica de la Producción de electricidad 2012 (59.988 GWh)



Fuente de grafica 4: (UPME, 2012)

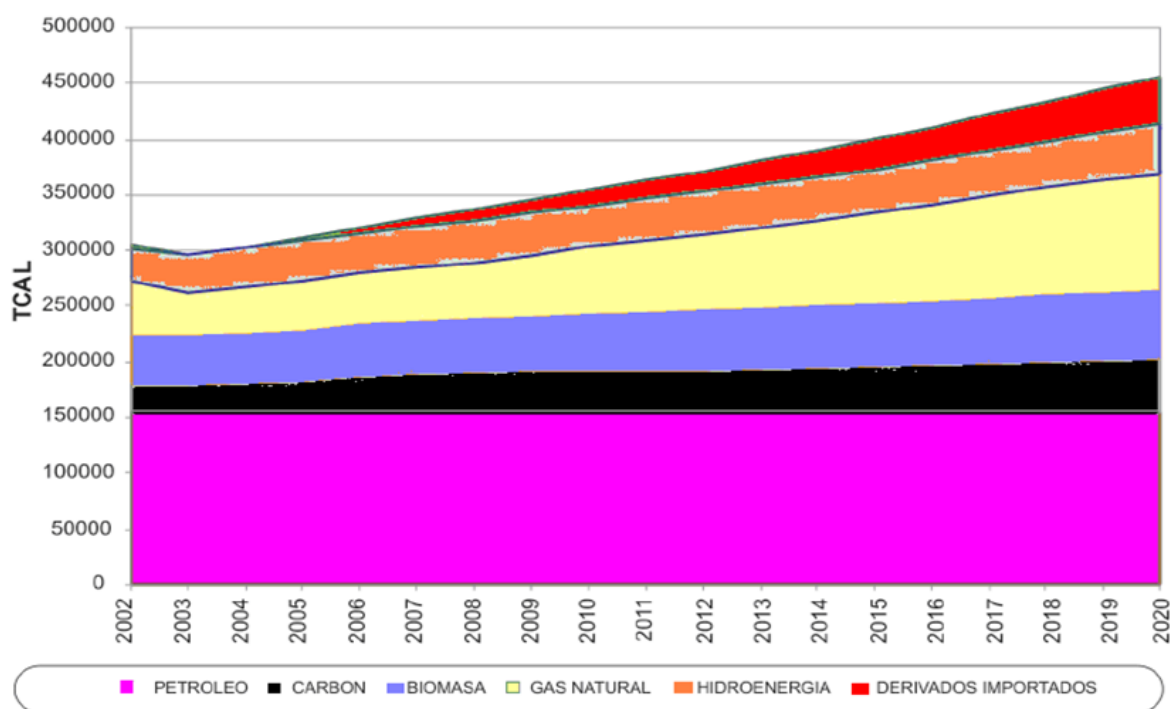
Como se puede ver en las Figuras 7 y 8, esta tendencia de mayor participación del gas en la matriz eléctrica podría estancarse o reducirse, teniendo en cuenta la entrada próxima de grandes proyectos hidroeléctricos como Ituango (1200 MW) o Hidrosogamoso (800 MW). Adicionalmente, la incertidumbre del abastecimiento de gas, debido a la disminución en la producción del campo de Guajira y la falta de hallazgos importantes en los últimos años, no dan certeza acerca de la disponibilidad en el largo plazo de este combustible, por lo tanto, no se tiene proyectada la entrada de grandes proyectos de generación con gas.

Como se observa, la participación en la generación del país de fuentes renovables no convencionales es de menos del 1% proveniente del bagazo y el viento sumado al 4.29% proveniente de generación hidráulica menor a 20MW para un

total de 4.72%. Cabe aclarar que la capacidad instalada en generación con bagazo es mucho mayor pero una gran parte de esta generación es para autoconsumo y por lo tanto no hace parte de esta matriz.

La alta participación del recurso hídrico en la generación eléctrica le ha otorgado la denominación de matriz eléctrica limpia, debido a sus bajas contribuciones en la emisión de gases de efecto invernadero comparada con matrices altamente dependientes de combustibles fósiles. Ahora bien, este factor definido como las ton CO₂e/kWh puede variar de año a año dependiendo efectivamente de la generación real del país. Adicionalmente existen dos metodologías para el cálculo del factor de emisiones, uno en el caso de presentación de proyectos para aplicar a los mecanismos de desarrollo limpio MDL establecidos bajo el Protocolo de Kioto y otro el calculado como emisiones reales del sistema. Si bien, como ya se mencionó, en el caso de Colombia este factor es relativamente bajo, puede aumentar en años debido al fenómeno del Niño cuando se requiere un mayor aporte de la generación térmica debido a fuertes sequias y reducción de embalses causados por el fenómeno climatológico.

Figura 9: Grafica que muestra la Proyección de la Demanda de Energía Primaria por Fuente e Importaciones 2002-2020.



Fuente 4: Adaptación: UPME. Plan energético nacional 2003-2020. 2003. Pág. 84

Como se puede ver en la Figura 9 se muestra una proyección de la demanda de energía primaria por fuente e importaciones hasta el año 2020, en la cual se puede apreciar un leve incremento en el uso de la biomasa, como un recurso energético que puede aportar soluciones para diversificar la matriz eléctrica Colombiana.

1.4.3 Cambio climático

Si bien Colombia es un país que no contribuye considerablemente a las emisiones globales de GEI (contribuye aproximadamente con 0,37% de las emisiones mundiales (Corporación Ambiental Empresarial - CAEM, 2010), su alta dependencia en el recurso hídrico para generación eléctrica lo hace altamente vulnerable a los efectos del cambio climático.

Colombia, al igual que muchos países en vías de desarrollo, tiene condiciones geográficas, climatológicas y poblacionales que aumentan la vulnerabilidad frente al cambio climático. El sector eléctrico ha sido identificado como uno de los sectores vulnerables al cambio climático en el país. El Plan de Desarrollo 2010-2014 plantea la importancia de diversificar la matriz eléctrica con el objetivo de reducir el riesgo y mitigar los posibles impactos del cambio climático en los ciclos hidrológicos del país y por ende en la cadena de generación eléctrica. En Abril del 2013 se adelantó una convocatoria desde la UPME denominada “Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al cambio climático” con el fin de establecer las estrategias de la política energética frente a esta situación.

De acuerdo con la Comisión de Integración Energética Regional- CIER (CIER, 2010), si bien la matriz eléctrica de la región es particularmente limpia y se proyecta continuar por una senda de bajo carbono, es importante considerar que “el aumento significativo de la temperatura puede afectar negativamente el funcionamiento del sistema eléctrico. Con el objetivo de hacer frente a este riesgo la Comisión sugiere realizar estudios detallados para evaluar los riesgos y posibles impactos del cambio climático en los sectores eléctricos de la región, buscar

ampliar el conocimiento en relación a los beneficios de las fuentes de energía renovable no convencional y apoyar un marco regulatorio favorable para el desarrollo de FNCER.

1.4.4 Hidroenergía y su impacto ambiental en Colombia.

Para el caso de las hidroeléctricas grandes con embalse, la principal externalidad que genera la construcción de un embalse está asociada al desplazamiento de la población que habita en el área a inundar, la pérdida de oportunidad de uso del suelo para otras actividades y los impactos en biodiversidad. Adicionalmente, el llenado del embalse genera emisiones de metano (CH_4), que es un GEI.

Usualmente se considera que las plantas hidroeléctricas no generan emisiones de GEI, pues no requieren de un proceso de combustión que libere este tipo de gases, por lo que se le da una amplia ventaja frente a las plantas térmicas a la hora de elegir el mecanismo de producción de electricidad. Sin embargo, numerosos estudios (Bastviken et al., 2011; Farrer, 2007; Kemenes et al., 2007) han demostrado que las represas de agua generan emisiones de metano y algunas de dióxido de carbono (CO_2) durante la inundación y al pasar por las turbinas, ya que al inundarse un terreno rico en vegetación, se libera el CO_2 y el CH_4 que está contenido en la biomasa vegetal, dado que es un sumidero natural de este tipo de gases. Desde el fondo del embalse se liberan gases que suben hasta la superficie y se integran a la atmósfera. Además, en el momento en que el agua pasa por las turbinas para activar el mecanismo de generación de energía eléctrica, ese movimiento de aguas (aguas que salen del fondo de la represa, pues los canales por los que el agua sale de la represa están en la parte baja) genera una nueva liberación de gases (CH_4 y CO_2). Todas estas emisiones tienen

impactos sobre el cambio climático, aunque estos impactos son menores a aquellos producidos por las plantas térmicas que usan combustibles fósiles.

Las emisiones de metano tienen un impacto importante en términos de emisión de GEI, pues una tonelada de metano equivale a 24 toneladas de CO₂ en términos del efecto sobre el cambio climático (IMCO, 2012). Fearnside (2004) argumenta que la descomposición de carbono de las hojas y del suelo como resultado de la inundación tiene un efecto de generación de metano a través de condiciones anaerobias (sin oxígeno) en el fondo de la represa.

1.4.5 Cogeneración en Colombia.

El sector azucarero tiene el mayor potencial de cogeneración en Colombia, por su disponibilidad de biomasa, en especial el bagazo. Actualmente existen 12 proyectos de cogeneración de energía a partir de la combustión del bagazo de caña de azúcar en Colombia (San clemente, 2011). El bagazo se usa como combustible en las calderas de los ingenios, tanto para la operación de sus procesos como para la generación eléctrica. La mayor parte de la electricidad producida es usada por los ingenios para su consumo y el resto es vendido a la red nacional de energía.

En el 2011, la capacidad de cogeneración de energía eléctrica de los Ingenios azucareros llegó a 190MW, con unas ventas de 53MW a través de la red de interconexión eléctrica nacional. Para el 2015 se estima que la capacidad de

cogeneración será de 333MW de los cuales se considera que podrían venderse 145MW (Asocaña, 2012).¹⁰

1.5 Fiebre de bionegocios en el valle del cauca / marzo 26,2015.

El Valle está llamado a convertirse en el epicentro de los bionegocios en Colombia en los próximos años por contar con una agroindustria azucarera, una expansión de sus sectores farmacéutico, cosmético, avícola y porcícola y un aumento de su programa de cogeneración eléctrica a base de biomasa.

La conclusión se dio en el foro 'Bionegocios, el futuro de la inversión en el Valle', organizado por la agencia Invest Pacific con motivo de sus cuatro años de actividades.

Una muestra de ello es que durante el 2014 la producción de etanol (a base de biomasa de caña) fue de 369 millones de litros.

Según el presidente de la Cámara de Comercio de Cali, Esteban Piedrahita, el Valle ya tiene un importante camino recorrido en el bionegocio de la cogeneración de energía eléctrica y biocombustibles. No obstante, las empresas del Departamento pueden expandirse hacia otros mercados con nuevos bioproductos de valor.

¹⁰ GARCÍA, Helena. CORREDOR, Alejandra. CALDERÓN, Laura. GÓMEZ, Miguel. Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf

Frente a tales retos, la directora ejecutiva de Invest Pacific, María Eugenia Lloreda, indicó que “el Valle necesita impulsar su bioeconomía, pues nos hemos dado cuenta que la tendencia regional en materia de inversiones está muy enfocada a la oportunidad que tenemos de volver útiles los residuos agroindustriales para convertirlos en bioproductos con mayor valor agregado y en energía”.

Por más bioenergía: Pero quizás el campo más promisorio es el de la energía, ya que se han identificado 2738 empresas distribuidas en la producción de biomasa, destilerías de etanol, cogeneración eléctrica, reciclaje de papel, fertilizantes, agroforestales, investigación, maquinaria y equipos al igual que logística.

Se estima que los ingenios azucareros están aportando hoy unos 250 megavatios al sistema interconectado.

Esta cadena productiva de la bioenergía a base de plantas de cogeneración con bagazo de caña tiene una capacidad instalada de 187 megavatios, y podrá aportar 360 megavatios en el 2017, lo que representará un aumento del 92,5% en los próximos cuatro años.

Por el lado de los residuos forestales se encuentra la compañía Cartón de Colombia que en 2013 tenía 41.746 hectáreas de plantaciones, y espera cosechar otras 17.445 hectáreas en los próximos cinco años. Esos residuos se utilizan en la generación de vapor y energía.¹¹

¹¹ Redacción de El País. Fiebre de bionegocios en el Valle del Cauca, ¿de qué se trata? [En línea]. 1ª ed. Colombia; El País, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/hay-fiebre-bionegocios-valle-cauca-trata>

1.6 Proyecto eco-combustión EMGESA

El mantenimiento de las redes eléctricas en zonas urbanas y rurales implica la poda de árboles y demás vegetación circundante. CODENSA realiza estas podas y los residuos no tienen valor comercial.

El proyecto de Eco-combustión busca *evaluar la combustibilidad de biomasa procesada proveniente de las podas* en Bogotá y estimar la viabilidad financiera de su empleo en co-combustión para generación eléctrica.

Para lo anterior Industrias TECSOL plantea:

- Evaluar el material residual de podas en Bogotá
- Torrefactor (tostar o someter una sustancia a un fuego vivo que produce una carbonización incompleta.) y caracterizar la biomasa para uso directo
- Torrefactor y caracterizar pellets y briquetas elaborados con la biomasa de las podas
- Realizar pruebas piloto de co-combustión ¹²

¹² RINCÓN, José M. Uso de biomasa en la generación de energía térmica y eléctrica. [Informe]. 1ª ed. Colombia, Autor, 2015. [Citado 28-02-2016]. Documento: Acolgen Octubre 2015 TECSOL.

1.7 La biomasa en Colombia gana viabilidad con la nueva ley de renovables.

La biomasa en Colombia puede ser una gran oportunidad ante la nueva Ley de promoción de energías renovables. El nuevo contexto permitirá usar la biomasa residual y de cultivos energéticos para aportar calor de autoconsumo y hasta ofrecer electricidad renovable a la red.

El sector eléctrico en Colombia está mayormente dominado por generación de energía hidráulica (64% de la producción) y generación térmica (33%). No obstante, el gran potencial del país en nuevas tecnologías de energía renovable (principalmente eólica, solar y biomasa) apenas si ha sido explorado.

El Marco Regulatorio para las Energías Renovables, consiste en reformas al Reglamento de la Ley General de Electricidad, que incentivará la generación de energía eléctrica utilizando recursos renovables en plantas conectadas a la red del distribuidor y sin condiciones de participar en el Mercado Mayorista de Electricidad.

La ley de 2001 diseñada para promover energías alternas carece de disposiciones clave para lograr este objetivo, como, por ejemplo *feed-in tariffs*, y hasta ahora ha tenido muy poco impacto. Las grandes plantas de energía hidráulica térmica dominan los planes de expansión actuales. La construcción de una línea de transmisión con Panamá, que enlazará a Colombia con Centroamérica, ya está en marcha.

Algunos beneficios claros que prevé la ley de Colombia:

- Fondo Nacional para financiar parcial o totalmente programas y proyectos con energías renovables
- Se fijan incentivos a la investigación y desarrollo e inversión (hasta 50% de la renta durante 5 años).
- Incentivo impositivo con el IVA (exclusión de IVA para equipos, maquinaria, servicios nacionales o importados, etc.)
- Incentivos arancelarios en la importación de tecnología.
- Incentivos contable (depreciación acelerada de equipos).

1.7.1 La biomasa residual y los “cultivos para energía”

En Colombia existen diversas zonas con potencial para aprovechamiento de residuos para calor y electricidad, así como para producir pellets u otros materiales de interés. Literalmente, existen millones de hectáreas con alto potencial para una infinidad de alternativas incluyendo aquellos cultivos con sinergias para el sector azucarero como el pasto elefante, pero también muchos cultivos leñosos de rápido crecimiento y plantaciones mixtas agroforestales de alta sostenibilidad que permiten la diversificación del riesgo empresario.

Utilizar biomasa sólida para generar calor y electricidad tiene enormes ventajas ya que el usuario puede “independizarse” de los precios de los combustibles y las tarifas que se esperan suban en casi todo el planeta. Por otra parte, los gobiernos, como en el caso de Colombia cada día tienden a dejar el subsidio a la energía fósil

le dan atención al fomento de las energías renovables. Entre ellas, una de las viables en América Latina es la biomasa.¹³

1.8 GENSA adelanta proyectos de energías renovables y/o FNCE

Para diversificar el parque de generación, GENSA continua desarrollando actividades que le permitan participar en proyectos hidroeléctricos y en proyectos con Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), así:

1.8.1 Generación de energía con residuos sólidos urbanos biodegradables para Inírida y Mitú.

Durante el año 2014, GENSA adelantó gestiones pertinentes con la Alcaldía de Inírida, Gobernación de Guainía, empresa de aseo de Inírida, Alcaldía de Mitú y Gobernación de Vaupés, de manera exploratoria para implementar proyectos de generación a partir de los residuos sólidos urbanos de estos dos municipios. Al finalizar 2014 se contó con el dimensionamiento de la energía y la potencia a producir.¹⁴

¹³ Bioenergy Crops. La biomasa en Colombia gana viabilidad con la nueva ley de renovables. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://bioenergycrops.com/es/2014/01/20/biomasa-en-colombia-ley-renovables/>

¹⁴ GENSA. Gestión sostenible 2014. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.gensa.com.co/psw/wp-content/uploads/2015/03/Gestion_Sostenible_2014_GENSA.pdf

2. EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO.

El siguiente capítulo muestra la legislación Colombiana y los diferentes tratados internacionales que buscan reducir las emisiones de dióxido de carbono, mediante la implementación de energías renovables.

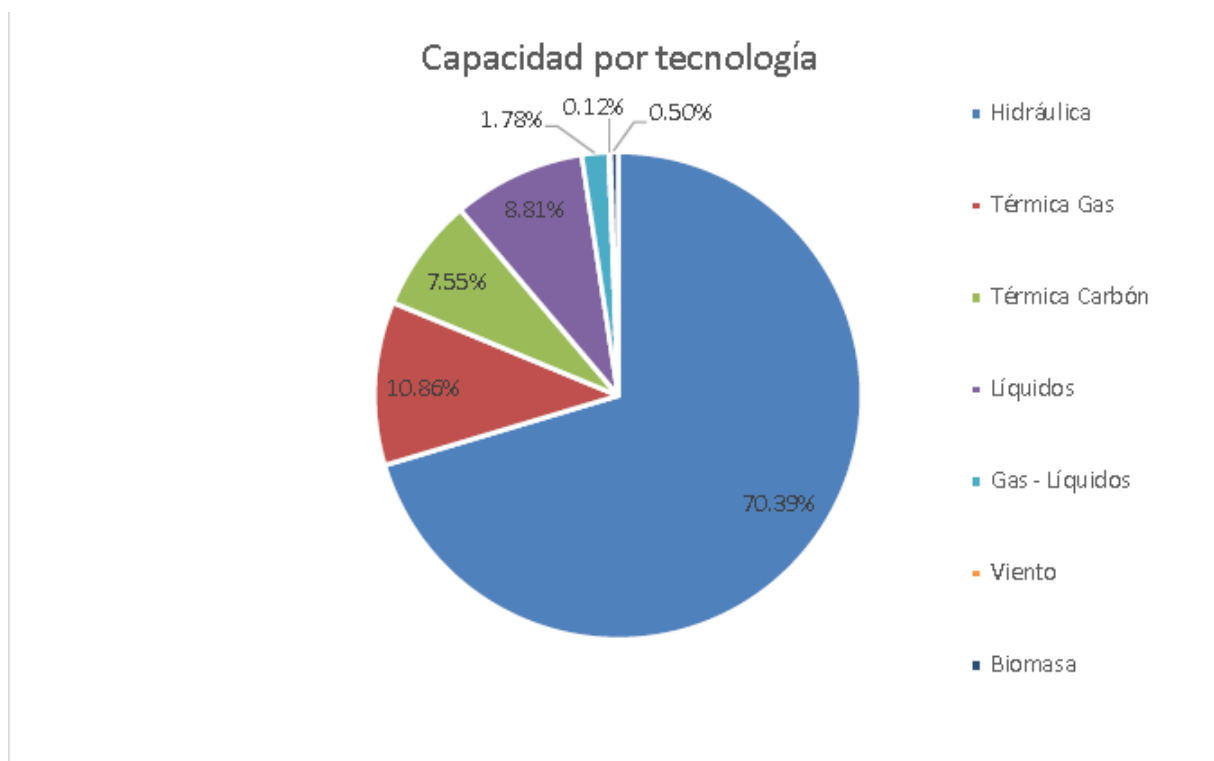
2.1 Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano – marzo de 2015 subdirección de energía eléctrica – grupo de generación.

2.1.1 Capacidad instalada.

Durante el mes de marzo el Sistema Interconectado Nacional registró un incremento de la capacidad instalada en 4,9 MW, respecto al mes anterior. Ello corresponde a la puesta en operación de nueva generación a partir de la biomasa. Dado el incremento de potencia instalada, el sistema presenta a marzo de 2015 una capacidad total de 15.513,7 MW. Esta información, diferenciada por tipo de tecnología/recurso, se presenta en la Figura 10.

Los datos muestran que las centrales hidroeléctricas tienen una participación de 70,49% del total, y en segundo lugar se ubican las centrales térmicas (gas y carbón), las cuales alcanzan de manera agregada el 18,35%.

Figura 10: Grafica de la Participación por tecnología en la matriz eléctrica.



Fuente de datos 1: Sistema de información de XM

Fuente de tabla 1: UPME

2.1.2 Distribución de la capacidad instalada por departamentos.

En la Tabla 1 se presenta la capacidad instalada agrupada por áreas eléctricas, en función de las tecnologías que se encuentran en cada una de ellas.

Tabla 1: Capacidad instalada en cada región por tipo de recurso [MW]

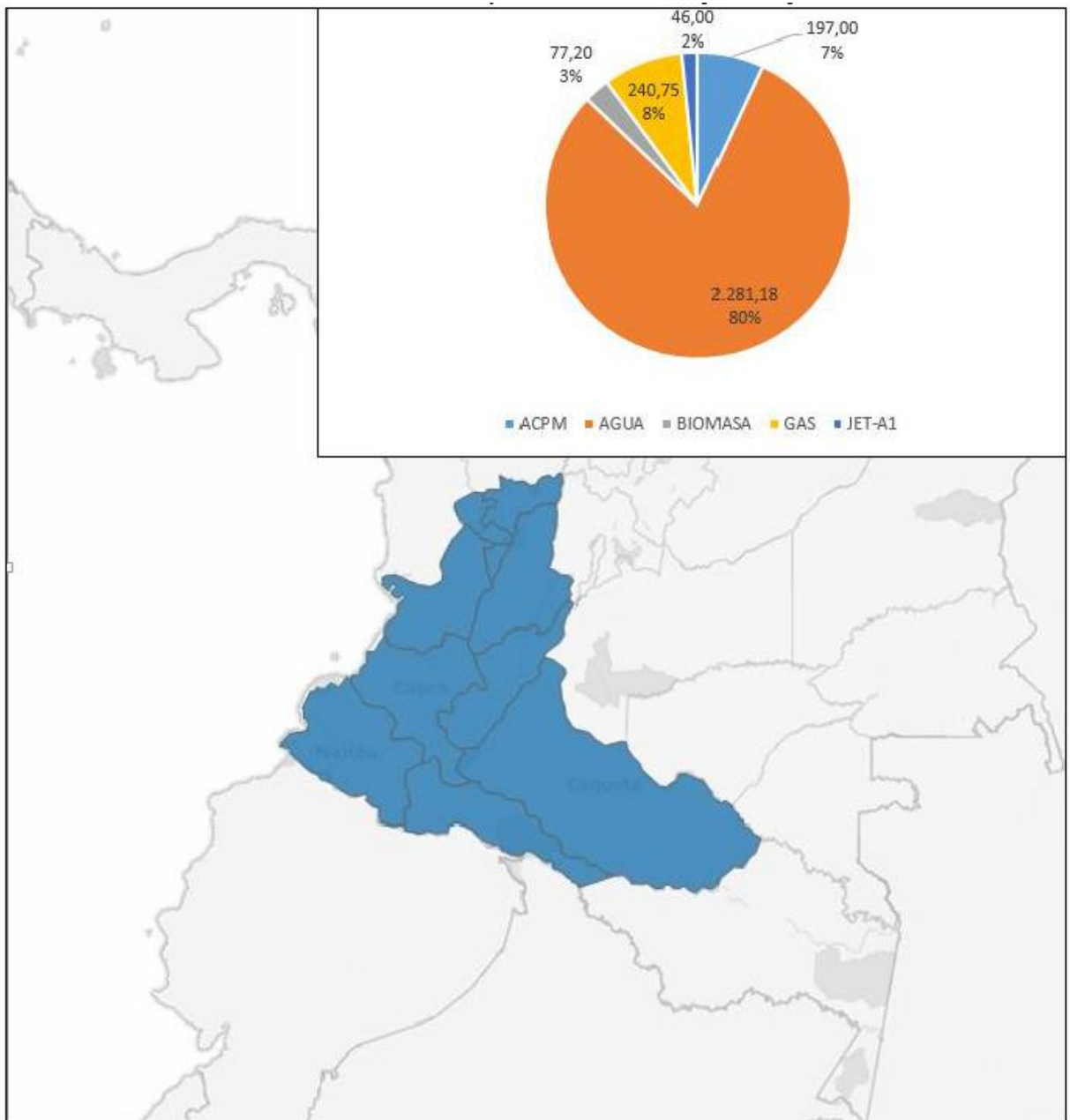
	ACPM	AGUA	BIOMASA	CARBON	COMBUSTOLEO	GAS	JET-A1	GAS - JET-A1	VIENTO	Total general
ANTIOQUIA	364,0	4.369,7		5,0						4.738,7
ANTIOQUIA	364,0	4.369,7		5,0						4.738,7
CHOCÓ										0,0
CARIBE	462,0	338,0		296,0	297,0	1.331,0			18,4	2.742,4
ATLÁNTICO	153,0				110,0	1.241,0				1.504,0
BOLÍVAR	309,0				187,0	90,0				586,0
CÓRDOBA		338,0								338,0
GUAJIRA				296,0					18,4	314,4
CESAR										0,0
MAGDALENA										0,0
SUCRE										0,0
NORDESTE		1.838,0		482,0		276,6		276,0		2.872,6
BOYACÁ		1.000,0		327,0						1.327,0
CASANARE						109,6				109,6
NORTE SANTANDER				155,0						155,0
SANTANDER		838,0				167,0		276,0		1.281,0
ORIENTAL		2.092,9		225,0						2.317,9
BOGOTÁ D. E.		4,3								4,3
CUNDINAMARCA		2.088,6		225,0						2.313,6
META										0,0
GUAVIARE										0,0
SUROCCIDENTE	197,0	2.281,2	77,2			240,8	46,0			2.842,1
CALDAS		585,6					46,0			631,6
CAUCA		322,7	29,9							352,6
HUILA		551,1								551,1
NARIÑO		23,1								23,1
PUTUMAYO		0,5								0,5
QUINDÍO		4,3								4,3
RISARALDA		8,5	5,5							14,0
TOLIMA		142,0				11,8				153,8
VALLE DEL CAUCA	197,0	643,4	41,8			229,0				1.111,2
CAQUETÁ										0,0
Total general	1.023,0	10.919,8	77,2	1.008,0	297,0	1.848,4	46,0	276,0	18,4	15.513,7

Fuente de datos 2: Sistema de información de XM

Fuente de tabla 2: UPME

En relación al informe, el incremento de la capacidad instalada se debe a un proyecto de generación a partir de la biomasa, localizado en el departamento del Cauca. (Ver Figura 11)

Figura 11: Grafica de la Capacidad instalada área Cauca, Caldas, Caquetá, Huila, Nariño, Putumayo, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca [MW, %]



Fuente de datos 3: Sistema de información de XM

Fuente de grafica 5: UPME

En relación al incremento de capacidad, el nuevo proyecto de generación a partir de la biomasa hace parte del Agente PROYECTOS ENERGETICOS DEL CAUCA S.A. E.S.P.

2.1.3 Factor de emisión (FE) y emisiones de CO₂:

Para el cálculo de emisiones de CO₂ y el factor de emisión del sistema de generación eléctrico colombiano, se utiliza la información reportada de consumo de combustible por tecnología y la generación de electricidad mensual por tipo de central. Adicionalmente, se utilizan valores estandarizados en el aplicativo Factores de Emisión (FE) para Combustibles Colombianos (FECOC).

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los cálculos de emisiones de CO₂ del sistema interconectado nacional (SIN) para el mes de marzo de 2015. Según el informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico Colombiano-marzo de 2015, durante dicho mes, el parque generador colombiano emitió cerca de 1.025,5 Ton. CO₂, producto de la combustión de Gas Natural, Carbón y Combustibles líquidos.

Las centrales que utilizan Carbón generaron los mayores volúmenes de CO₂, aportando el 48,84% del total de emisiones, seguidas por las centrales a Gas Natural, las cuales entregaron cerca del 48,04%. El resto de las emisiones fueron producto de la generación con ACPM (FO2), combustóleo (FO6), JET-A1 y bagazo.

Tabla 2: Emisiones CO₂ equivalente GEI generación eléctrica

Tipo de planta	Energía Neta Generada. [GWh]	Consumo de Combustible [GBTU]	Emisiones [Ton. CO ₂ /mes]
ACPM	2,23	28,02	2.213,15
AGUA	3.848,29		
BAGAZO	41,44		25.948,14
CARBON	545,39	4.879,07	500.650,58
COMBUSTOLEO	3,25	45,44	3.862,32
GAS	975,04	8.471,27	492.474,16
JET-A1	0,00		0,00
MEZCLA GAS - JET-A1	0,00		0,00
MENORES AGUA	176,24		
MENORES GAS	60,37	0,00	
VIENTO	6,46	0,00	
Total	5.658,71	13.423,79	1.025,15
Energía Neta Generada [MWh/mes]		5.658.711,70	
Emisiones Generadas [Ton. CO₂/mes]		1.025,15	
Factor de Emisión Ton. CO₂/KWh]		0,18	

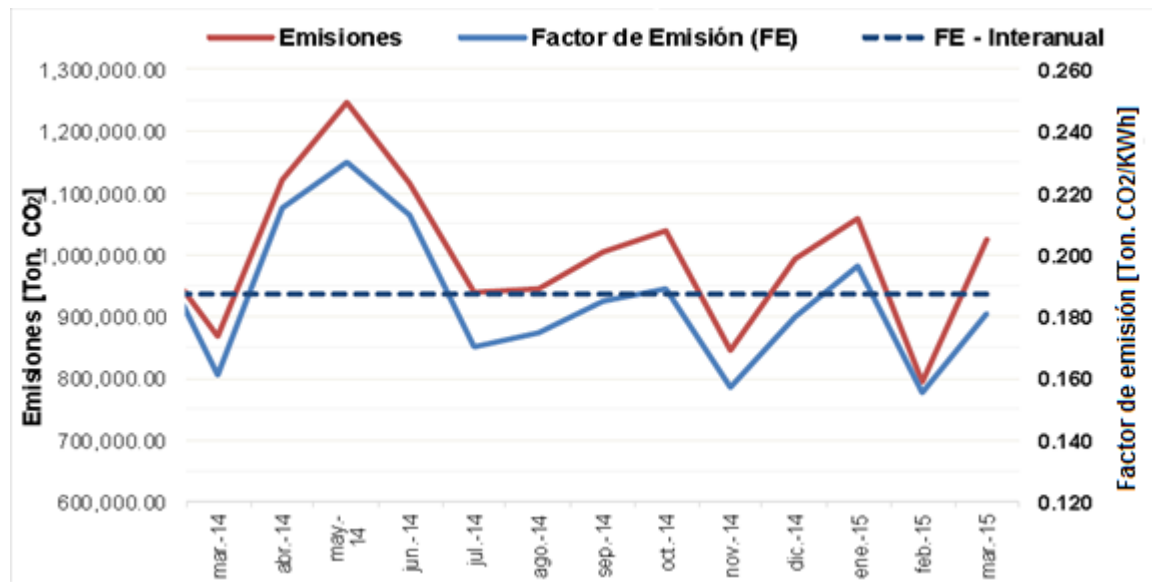
Fuente de datos 4: XM y FECOC UPME
Fuente de tabla 3: UPME

De acuerdo con las cifras presentadas en la Tabla 2, la cual hace parte del informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico Colombiano-marzo de 2015, se puede ver que el Factor de Emisión del sistema de generación en el mes de marzo de 2015 fue 0,18 Ton CO₂/KWh. Al comparar este valor con la cifra del mes inmediatamente anterior, se observa un incremento de 0.026Ton CO₂/KWh, lo cual es consecuente con el incremento de la demanda de combustibles para la generación de electricidad, así como el aumento de la participación de la generación térmica.

Al comparar la generación de electricidad y las emisiones generadas de cada una de las tecnologías, se encuentra que el factor de emisión de la generación térmica a carbón es mayor respecto a la generación térmica a gas, indicando que esta

tecnología aportó electricidad con una mayor producción de dióxido de carbono (CO₂).

Figura 12: Grafica de la Evolución de emisiones y de factor de emisión.



Fuente de datos 5: Sistema de información de XM

Fuente de grafica 6: UPME

La Figura 12 presenta la evolución del agregado de emisiones de CO₂ producidas por el parque generador nacional, Factor de Emisión mensual y el Factor de Emisión interanual. Allí se observa una estrecha relación entre las dos líneas mensuales. La diferencia entre estas se establece por el cambio de pendiente de las curvas entre los diferentes meses. Esta pendiente es influenciada por el tipo de combustible consumido para la generación, ya que este afecta directamente los cálculos del factor de emisión (FE) y del volumen emisiones de CO₂, y por el número de días de cada mes.

Al comparar el Factor de Emisión del mes de marzo 2015 con el Factor de Emisión Interanual, se observa que este se ubica por encima del primero. Ello indica que la operación del SIN durante el mes de marzo de 2015 emitió menos cantidad de gases de efecto de invernadero por kWh, que los emitidos en promedio durante los últimos 12 meses.¹⁵

2.1.4 Emisiones de gases de efecto invernadero

En el documento European Commission (2010) se destacan los ahorros en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero que se obtienen al reemplazar combustibles fósiles por recursos de biomasa. El balance en cuanto a gases de efecto invernadero de los sistemas de biomasa, utilizando análisis de ciclo de vida, difiere dependiendo del tipo de materia prima, variaciones en el stock de carbono debidas al cambio de uso de la tierra, transporte, procesamiento de las materias primas y tecnologías de conversión para producir calor y electricidad. Utilizando la misma metodología que se utiliza en la Directiva de Energías Renovables para los biocarburantes, se estudia el balance de gases de efecto invernadero para el combustible biomasa utilizada en electricidad y en calefacción y refrigeración y se compara con la media, a nivel de Unión Europea, para combustibles fósiles utilizados en electricidad y en calefacción y refrigeración, incorporando pérdidas por conversión de energía, suponiendo 25% de eficiencia en conversión eléctrica y 85% de eficiencia en conversión térmica. Según el citado documento, las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO₂ entre un 55 y un 98%, en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre

¹⁵ UPME. INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO – MARZO DE 2015 SUBDIRECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA – GRUPO DE GENERACIÓN. [En línea]. 3ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento_Variables_Marzo_2015.pdf

que la producción de la biomasa no cause cambios en el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80% en comparación con los combustibles fósiles. Mayores emisiones pueden producirse para cultivos energéticos agrícolas y en alguna medida para cultivos energéticos forestales de rotación corta debido al uso de fertilizantes.¹⁶

2.2 Fuentes no convencionales - FNCE y uso racional de la energía – URE

Ante la necesidad de alternativas de suministro que mitiguen la grave situación mundial actual de impactos al medio ambiente y las economías, ocasionada por las emisiones de fuentes energéticas fósiles, las sociedades desarrolladas del mundo se están orientando por una política que busca reducir los riesgos del suministro externo y realizan grandes esfuerzos para aprovechar las fuentes energéticas locales renovables, estimulando y facilitando los medios de infraestructura técnica, científica y económica.

Por otra parte, se advierten demandas crecientes, abastecimiento poco confiable, elevados e inestables precios del petróleo y un calentamiento global que obligan ahora mientras todavía queda algún tiempo, a reconfigurar los suministros de energía, lograr un menor consumo, desarrollar e investigar fuentes alternativas al petróleo y a aquellas que causen mayores problemas ambientales.¹⁷

¹⁶ CERDÁ, Emilio. Energía obtenida a partir de biomasa. [En línea]. 1ª ed. España, 2009. [Citado 25-08-2016]. Disponible en internet: http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_117-140__78E2E154C2BB213409D09C083013930C.pdf

¹⁷ UPME. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf

2.2.1 Marco legislativo para las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER) en Colombia.

La tendencia mundial de preservar el medio ambiente y los Protocolos que se constituyen, para mitigar el tema del Cambio Climático y del Desarrollo Sostenible, han llevado al país a desarrollar una nueva legislación sobre el tema, que es lo que permitirá, que se pueda “Generar energía renovable con los residuos sólidos urbanos en Colombia.

Los lineamientos legales están dados por las siguientes normas vigentes, en las que se pueden ver los compromisos de Colombia, mediante los protocolos y los Decretos que reglamentan las actividades de las fuentes no convencionales de energías renovables:¹⁸

- Ley N° 164 del 27 de octubre de 1994. Por medio de la cual se aprueba la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en Colombia.¹⁹
- Revisión constitucional del “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997, y de la Ley No. 629 del 27 de diciembre de 2000, por medio de la cual se aprueba dicho Convenio.²⁰

¹⁸ LEÓN Guillermo. SEMINARIO ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA. [Informe]. 1ª ed. Colombia, 2004. [Citado 23-08-2016]. Documento: Observatorio Colombiano de energía.

¹⁹ CONGRESO DE COLOMBIA. Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992, y de la Ley N° 164 del 27 de octubre de 1994. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 1994. [Citado 09-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21970>

²⁰ MONTEALEGRE, Eduardo. Revisión constitucional del “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997, y de la Ley No. 629 del 27 de diciembre de 2.000, por medio de la cual se aprueba dicho

- Ley 99 de 1993 - Ley General Ambiental de Colombia- Sistema Nacional Ambiental, (SINA).²¹
- Ley 165 de 1994 - Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992.²²
- Ley 697 de 2001 - Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones- Ley URE.²³
- Ley 1665 de 2013 - Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)".²⁴
- LEY N° 1715 DEL 13 DE MAYO DE 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.²⁵

Convenio. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2001. [Citado 09-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2001/C-860-01.htm>

²¹ CONGRESO DE COLOMBIA. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 1993. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

²² CONGRESO DE COLOMBIA. Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 1994. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37807>

²³ CONGRESO DE COLOMBIA. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2001. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>

²⁴ CONGRESO DE COLOMBIA. Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)", hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2013. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201665%20DEL%2016%20DE%20JULIO%20DE%202013.pdf>

Nuestro país, está cada día actualizándose en la normatividad ambiental mundial, y es así como mediante la expedición de la Ley 1665 de 2013 “Por medio de la cual se aprueba el "Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)", asume los compromisos de promover la implantación y el uso generalizados y reforzados de las energías renovables con objeto de lograr un desarrollo sostenible.

La Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, o Ley de Energías Renovables, tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) mediante la Ley 1665 de 2013. (Art. 1 y 2 de la ley 1715 de 2014)

Esta ley, determina los tipos de energías renovables, incluyendo la energía por Biomasa, cultivada y la Biomasa proveniente de los Residuos Sólidos Urbanos. Esta ley según el Artículo 4º, es declarada de utilidad pública e interés social.

De esta forma, las Energías Renovables, también están contempladas en el Plan Energético Nacional 2010 – 2030.²⁶

²⁵ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1715 13 mayo 2014. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

²⁶ CORPORACION AMBIENTAL PLANETA AZUL ONG. Una planta de generación de energía renovable, mediante el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos – RSU- por el sistema Termólisis®. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet:

2.2.2 ¿Por qué promover la integración de las FNCER al sistema energético nacional?

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables, pero dado que su consumo está basado en un 78% de recursos primarios de origen fósil, debe tenerse en cuenta que dicha demanda está prevista para ser cubierta por la oferta doméstica tan solo por el orden de 7 años más para el caso del petróleo y 15 años más para el caso del gas natural (UPME, 2014). En el caso de este último energético, adicionalmente debe tenerse en cuenta que se pronostica la necesidad de iniciar importaciones a partir del año 2017 o 2018, momento en el que la demanda superará la oferta interna. Entre tanto, la dependencia de la matriz eléctrica del país en el recurso hidroenergético, que representa un 70% de la capacidad instalada a diciembre de 2014 y un 70% a 80% de la generación eléctrica anual, conduce a considerar la necesidad de integrar otras fuentes y tecnologías renovables a esta canasta, como es el caso de la energía eólica, la solar, la generación geotérmica y la cogeneración moderna a partir de la biomasa, con el fin de reducir la dependencia en las fuentes convencionales, tanto hidroeléctricas a gran escala como fósiles, que en el caso de las primeras se ven afectadas a raíz de fenómenos como El Niño y el cambio climático, y en el segundo caso están sujetas a una amplia volatilidad en precios, siendo necesario reconocer adicionalmente que eventualmente tenderán a su agotamiento tanto a nivel doméstico como a nivel mundial (aun cuando esto pueda tomar décadas y siglos).

La biomasa es aún hoy en día la fuente tradicional de energía renovable de mayor participación en la canasta energética mundial, siendo protagonista especialmente

en países subdesarrollados y en vía de desarrollo, a través del uso de la leña como energético comúnmente utilizado por poblaciones rurales y de escasos recursos, para labores como la cocción de alimentos y la iluminación.

La biomasa combinada con tecnologías modernas permite tanto la producción de electricidad como la producción de calor y su uso para fines de transporte. Siendo esta la FNCER más desarrollada en Colombia, específicamente a partir del uso energético de bagazo de la caña de azúcar, también se resalta que el potencial para aprovechamiento energético de las biomasa en Colombia es alto, especialmente a partir de residuos que ascienden al orden de 450 PJ/año, y que corresponden a aproximadamente el 41% de la demanda nacional de energía, pudiendo ser usados tanto con fines eléctricos como térmicos.

2.2.3 ¿Qué instrumentos pueden ser usados para promover la integración de las FNCER a las canastas energéticas?

Entre los instrumentos utilizados a nivel mundial para la promoción de las FNCER se tienen tantos mecanismos indirectos orientados a la obtención de beneficios Ambientales, como instrumentos directos de política energética dirigidos a facilitar la integración de estas fuentes alternativas en el mercado eléctrico, y mecanismos fiscales y de financiamiento que sirven como señales de mercado y sientan las condiciones propicias para generar una dinámica de desarrollo de estas fuentes.

En el caso de los instrumentos para la reducción de emisiones, se tienen los impuestos al carbono y los topes de emisiones. En el caso de los primeros, que generalmente no son bien recibidos por su efecto sobre los precios de la electricidad y porque se considera pueden atentar contra la competitividad de un

país, pensando especialmente en los costos que afectan a la industria, estos han sido aplicados principalmente en el caso de países desarrollados como Finlandia, Suecia, Gran Bretaña, Japón, etc., y más recientemente en países como México y Chile. Mientras que en el caso de Suecia el impuesto corresponde con el más alto conocido, estando en el orden de 150 USD/ton, México lo ha establecido en tan solo 1 USD/ton (prácticamente simbólico). El segundo caso corresponde a un enfoque que se diferencia del impuesto en el sentido de establecer un tope máximo de emisiones permitidas y dejar que sea el mercado el que fije un precio para las mismas, dando lugar a los llamados “Cap and Trade” de carbono adoptados principalmente en países de la Unión Europea.

2.2.4 ¿Cuál puede ser la estrategia de Colombia para promover la integración de las FNCER a su sistema energético?

La estrategia propuesta a partir del trabajo realizado para procurar la integración de las FNCER al Sistema energético nacional colombiano, se considera debe fundamentarse en el marco legal establecido por las Leyes 142 y 143 de 1994 (Ley de servicios públicos domiciliarios y ley de energía eléctrica), la Ley 1665 de 2013 (aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energía Renovable – IRENA–) y la Ley 1715 de 2014.

En línea con lo anterior, su objeto se extiende a través del propósito formulado, a lograr la diversificación de la canasta energética nacional, reducir las externalidades negativas del sector, minimizar la emisión futura de GEI, y lograr un desarrollo sostenible de los sectores energético y productivo del país, a través del

aprovechamiento económico de potenciales debidamente identificados en materia de FNCER.²⁷

2.2.5 Energía renovable no convencional en Colombia.

Para promover efectivamente la inversión en tecnologías de generación con fuentes renovables, la Ley 1715 de 2014, contempla una serie de incentivos fiscales. En primer lugar, se establece una reducción del impuesto de renta por hasta el 50% de la inversión, que puede ser aplicada de manera distribuida en el transcurso de los 5 años siguientes a su realización. Adicionalmente se exime del pago de IVA a todos los equipos y servicios, acotados por la UPME, que se destinen al proyecto. Como tercera medida, se determina que todos aquellos equipos, maquinaria, materiales e insumos que sean importados para los proyectos de FNCE, y no sean producidos por la industria nacional, estarán exentos del pago de aranceles. Finalmente, se estipula la posibilidad de depreciar aceleradamente los activos del proyecto, con una tasa anual de depreciación máxima del 20%.

De acuerdo con la Ley 1715 de 2014, el país debe trabajar en la integración de las FNCE al Sistema Energético Nacional, que se encuentra compuesto no solo por el Sistema interconectado Nacional, sino igualmente por las Zonas No Interconectadas, las fuentes, los mecanismos y los medios de transformación que hacen posible el uso de la energía para fines útiles dentro de todas las actividades realizadas a nivel nacional. Dada la extensión del territorio, la complejidad del

²⁷ UPME. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf

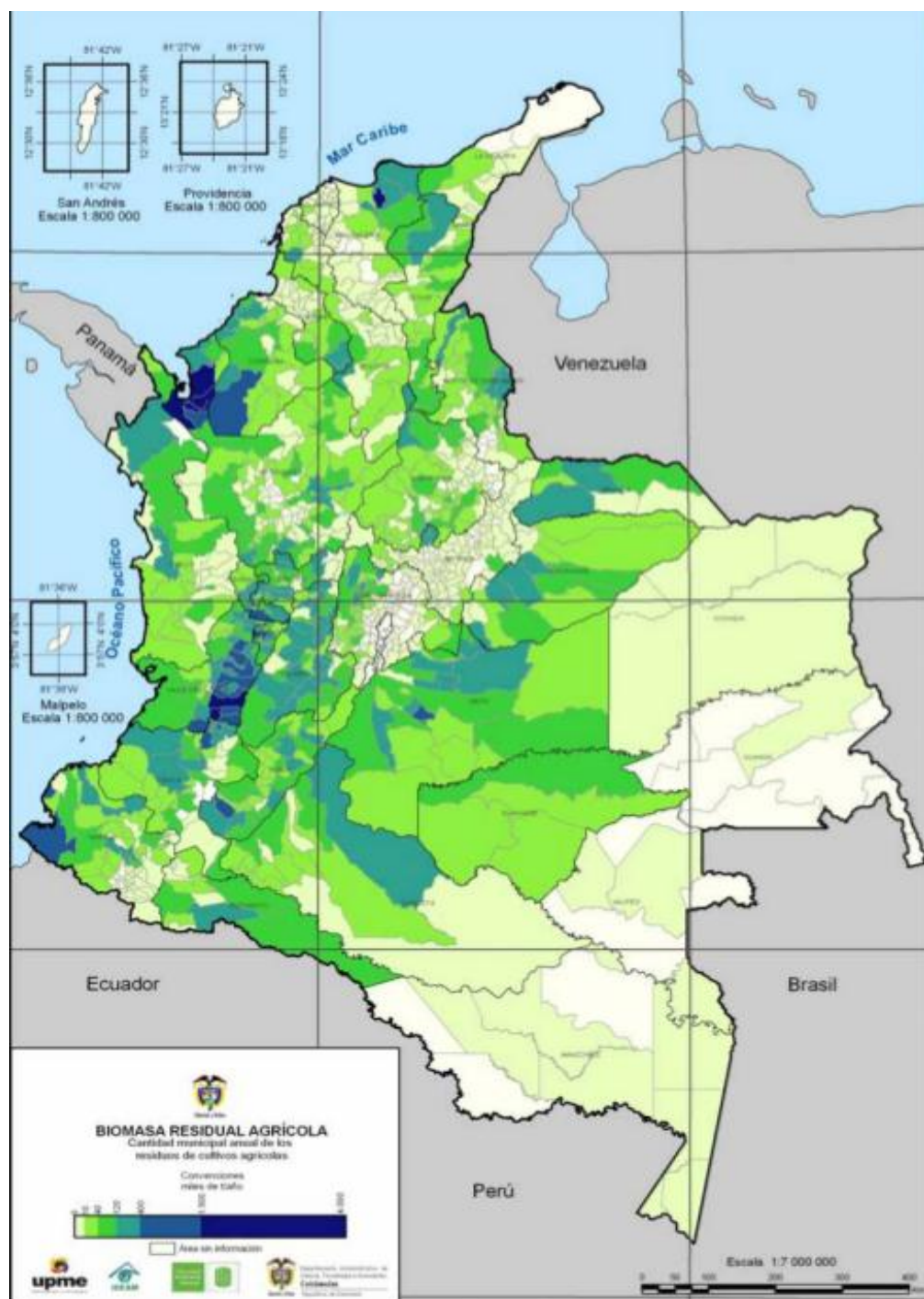
sistema y la diversidad y dispersión de recursos renovables disponibles en las diferentes regiones, el aprovechamiento de aquellos recursos más abundantes en cada región representa oportunidades por ser potencializadas como medio para fomentar el desarrollo de nuevas actividades económicas y mejorar la calidad y la sostenibilidad de la prestación de servicios básicos energéticos.

2.2.5.1 Incentivar el aprovechamiento y uso de la biomasa

Básicamente en Colombia hay dos fuentes de suministro de Biomasa:

- 1) Residuos agrícolas (Ver Figura 13)
- 2) Residuos sólidos urbanos orgánicos (Ver Figura 14)

Figura 13: Residuos agrícolas



Fuente de datos 6:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

Fuente de grafica 7: UPME

La Figura 13, muestra la cantidad municipal anual de los residuos de cultivos agrícolas. Las áreas de color blanco representan las zonas sin información, y las áreas de color más oscuro (azul oscuro y verde oscuro) representan las zonas de mayor producción de residuos de cultivos agrícolas, mientras que los colores más claros representan las zonas de menor producción de residuos agrícolas en Colombia.

El potencial energético de biomásas del país se concentra principalmente en el aprovechamiento de residuos forestales y agrícolas, en particular de los residuos de la caña de azúcar y la palma de aceite, la cascarilla de arroz, el cisco y la pulpa de café, los residuos del banano y las explotaciones silvícolas, entre otros. De acuerdo con los estudios realizados por la UPME y publicados en el Atlas de Potencial de la Biomasa Residual en Colombia (2010), se estima que en el sector agrícola se producen anualmente cerca de 331 mil TJ en residuos que pudieran ser aprovechados energéticamente. Al mismo tiempo, en el sector pecuario se calcula se generan alrededor de 117 mil TJ por año en forma de bovinaza, porquinaza, pollinaza y gallinaza que pudiese ser utilizada en conjunto con residuos agrícolas para la producción de biogás, en tanto que, en los centros de abastos, plazas de mercado y acopio de podas de las principales ciudades del país se generan del orden de 410 TJ anuales.

Estas cifras suman unos 448.410 TJ anuales por año que representan aproximadamente un 28% de la demanda energética interna del año 2012.²⁸

²⁸ UPME. Plan Energético Nacional Contextos y Estrategias 2006-2025. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2006. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>

Figura 14: Residuos sólidos orgánicos urbanos.



Fuente de datos 7:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

Fuente de grafica 8: UPME

La Figura 14, muestra la cantidad total municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos, centros de acopio y plazas de mercado y poda. Las áreas de color blanco representan las zonas sin información, y las áreas de color más oscuro (azul oscuro y verde oscuro) representan las zonas de mayor producción de residuos sólidos orgánicos urbanos, centros de acopio y plazas de mercado y poda, mientras que los colores más claros representan las zonas de menor producción de residuos sólidos orgánicos urbanos en Colombia.

Con el fin de promover el desarrollo de plantas de generación eléctrica a partir de la biomasa, la Ley 788 de 2002, por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial, consagró una exención en el pago del impuesto de renta generada por la venta de energía proveniente de tal fuente, para proyectos que tramiten y vendan certificados de carbono e inviertan el 50% de tales ganancias en obras de beneficio social. Por otra parte, la reciente Ley 1715 de 2014 expandió los beneficios tributarios para las FNCE, entre las que se encuentra la biomasa, con base en lo cual, la UPME proyecta en el Plan de Expansión de Referencia 2014-2028 que se podrían adicionar al parque generador del país 191 MW de biomasa de palma y 57 MW de caña en el periodo 2015-2020, que se sumarían a los 72,3 MW de biomasa que hoy entregan energía al SIN, o los cerca de 206 MW totales que suministran energía para el autoconsumo de la industria azucarera y excedentes para la venta.

Según el estudio Análisis Costo Beneficio de Energías Renovables no Convencionales en Colombia (2013) preparado por Fedesarrollo se estima que el costo nivelado de generación a partir de biomasa, en el caso específico del bagazo de caña, está alrededor de 20 COP/kWh, el cual resulta menor que los costos nivelados calculados para la generación eólica, geotermia y centrales filo de agua de pequeño tamaño.

Según este estudio, los proyectos de cogeneración tienen un valor presente neto positivo para tasas de descuento hasta del 12%, por lo que se concluye que del desarrollo de proyectos con FNCE, éstos pueden ser los más factibles, al tiempo que se recomienda que en caso de estar interconectados al SIN sería conveniente que pudieran acceder al cargo por confiabilidad, lo que mejoraría la rentabilidad de este tipo de proyectos (algo que hoy en día ya es posible para proyectos de co – generación o generación con Combustibles de Origen Agrícola, conforme lo dispuesto por la Resol. CREG 153 de 2013, por la cual se establece el reglamento sobre los Contratos de Suministro de Combustible de Origen Agrícola para el Cargo por Confiabilidad).

Por otra parte, es preciso mencionar que el potencial energético de la biomasa en Colombia, además de representar una alternativa para la diversificación de la canasta de generación de energía térmica y eléctrica a partir de esquemas de cogeneración como los implementados por la industria azucarera, hoy en día hace posible la producción de biocombustibles de primera generación y en el futuro podrá permitir, conforme los avances tecnológicos de los próximos años lo hagan posible, el desarrollo de combustibles de segunda generación para el sector transporte.

Más allá, el potencial energético de la biomasa también brinda la oportunidad de suministrar energía eléctrica en las regiones más apartadas del país, donde ya sea por su lejanía o la poca densidad, es muy costoso integrarlas al sistema interconectado nacional. De igual forma, el aprovechamiento energético de la biomasa permite desplazar el uso de combustibles fósiles ampliamente utilizados por la industria, como es el caso del gas natural, el carbón y los combustibles líquidos, por residuos agrícolas que constituyen combustibles alternativos abundantemente disponibles en determinadas regiones del país, lo que además

de reducir los costos de generación y producción, hace que la operación de estas industrias sea más sostenible.²⁹

²⁹ CADENA, Ángela. RODRÍGUEZ, Alberto. HERRERA, Beatriz. GARCÍA, Carlos. CÁRDENAS, Sara. MOJICA, Sandra. BRICEÑO, Roberto. BEJARANO, Juan. PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

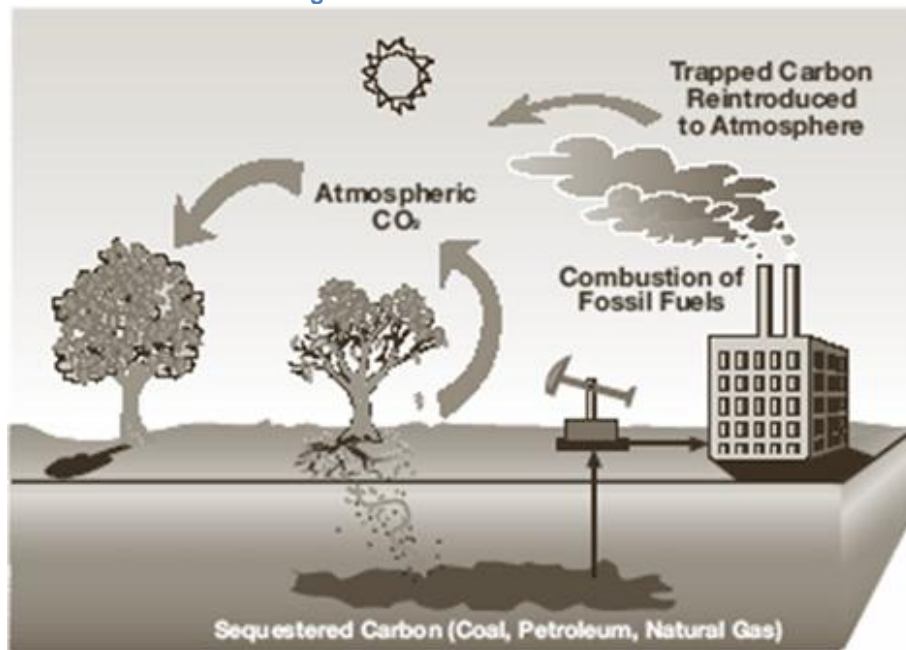
3. CRISIS AMBIENTAL.

En este capítulo se muestra el creciente impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente.

3.1 El ciclo del carbono.

El elemento carbono puede existir en forma gaseosa, como el dióxido de carbono, o en fase sólida, cuando el carbono se combina con otros elementos, como son los carbonatos, presentes en la mayoría de tipos de rocas que constituyen la corteza terrestre. El proceso de combustión transforma el carbono de fase sólida o líquido en dióxido de carbono que es considerado como un gas invernadero, ya que se congrega en la atmósfera superior. El proceso por el cual el carbono ha pasado por diversas formas se denomina 'ciclo del carbono' y este ciclo ha estado implicado en muchos cambios del clima de la tierra a lo largo de los tiempos geológicos. (Ver Figura 15)

Figura 15: El ciclo del carbono



Fuente 5: <http://www.kyotoinhome.info/ES/images/sustainable/figure2.gif>

El dióxido de carbono es absorbido por las plantas y los árboles y utilizado en el proceso de la fotosíntesis, que tiene como resultado la producción del oxígeno que animales y humanos necesitan para respirar. El dióxido de carbono también es absorbido por los océanos, donde es utilizado por el fitoplancton, organismo del principio de la cadena alimenticia oceánica, con la finalidad de formar sus esqueletos.

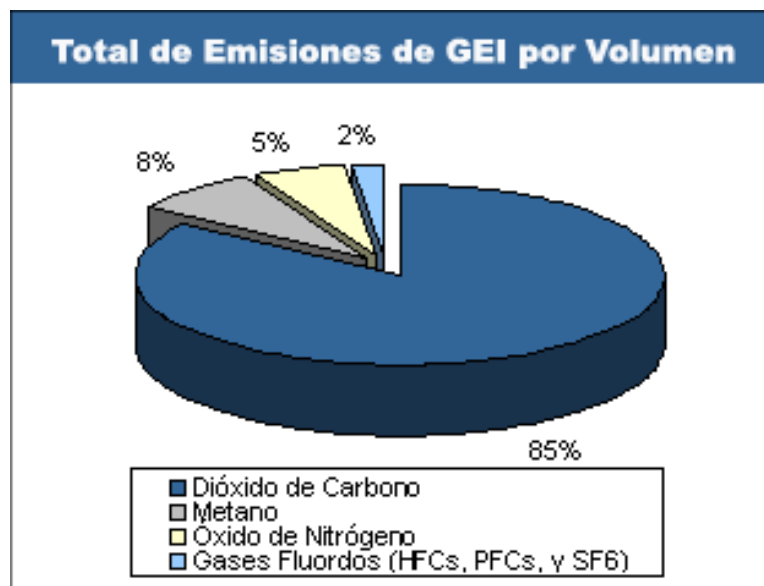
Si se absorbe más dióxido de carbono del que es emitido, entonces el nivel de dióxido de carbono a la atmósfera descenderá, lo que se ha asociado al inicio de los anteriores períodos glaciales en los cuales han disminuido las temperaturas globales. Los actuales casquetes polares de Groenlandia y de la Antártida y los glaciales alpinos son restos de los últimos períodos glaciales. En cambio, si es emitido más dióxido de carbono del que es absorbido, entonces la concentración de dióxido de carbono a la atmósfera aumentará y hay una clara evidencia a lo

largo del tiempo geológico que esto ha tenido como resultado períodos de calentamiento global.³⁰

3.1.1 Los 6 gases que provocan el efecto invernadero.

El Potencial de Calentamiento Global (GWP) es una medida relativa del efecto radioactivo de los gases de efecto invernadero comparado al CO₂. En otras palabras, el GWP indica cuantas toneladas de CO₂ es equivalente a 1 ton de emisión de cada gas. Seis gases son definidos como gases de efecto invernadero los cuales son causantes del calentamiento global. (Ver Figura 16)

Figura 16: Total de Emisiones de GEI por Volumen.



Fuente: <http://images.whatsyourimpact.eu.org/graphs/total-de-emisiones-de-gas-de-efecto-invernadero-por-volumen.png>

³⁰ ANONIMO. El ciclo del carbono. [En línea]. 1ª ed. Desconocido, XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.kyotoinhome.info/ES/sustainable_energy/carbon_cycle.htm

1. Dióxido de Carbono (CO₂).

- Combustión de combustibles fósiles (combustibles sólidos, líquidos y gaseosos) para propósito energético.

2. Metano (CH₄).

- Fermentación anaeróbica en vertederos.
- Tratamiento aeróbico de aguas residual (efluentes orgánicos tales como efluentes de fábrica de aceite de palma)
- Estiércol animal, arrozal.

3. Óxido Nitroso (N₂O).

- Alguna de la materia prima en proceso de producción de la industria química.
- Proceso de digestión del estiércol animal.

4. Hidrofluorcarbono (HFCs).

- Producción del HFC-22, fuga de refrigerante utilizado en los equipos refrigeradores y acondicionadores de aire, etc.
- Fuga en material aislante de calor usado en edificios y casas (agente espumante).

5. Perfluorcarbono (PFCs).

- Uso de materiales fundentes en proceso de limpieza de metal.
- Uso de agente de grabado en proceso de producción de semiconductores.

6. Sulfuro hexafluorido (SF₆).

- Usado como gas de cubierta para proceso de fundición del magnesio.
- Usado como gas aislante de electricidad.
- Uso de agente de grabado en proceso de producción de semiconductores.³¹

Los gases de efecto invernadero absorben y retienen parte de la energía radiada por el sol.

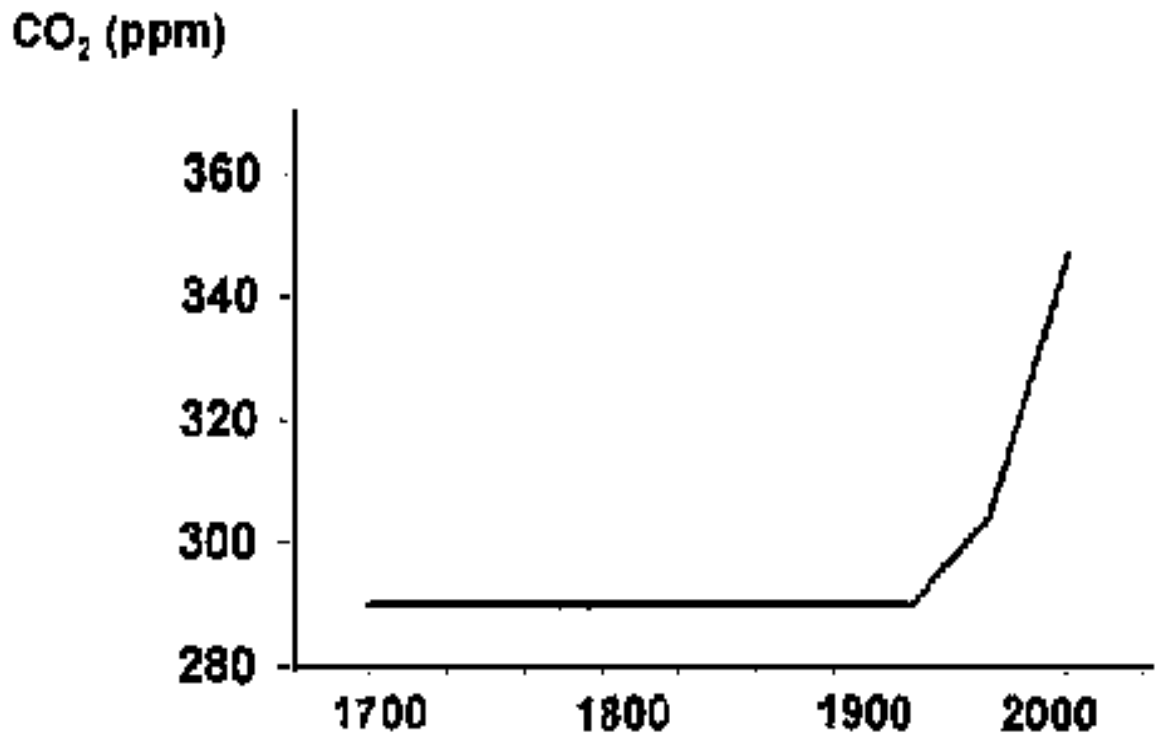
El petróleo, el carbón, y el gas son los responsables del 80% del CO₂ que se emite a la atmosfera y también son responsables del efecto invernadero y por lo tanto del calentamiento del planeta.

³¹ Mecanismos de desarrollo limpio. Los 6 gases que provocan el efecto invernadero. [En línea]. 1ª ed. Colombia: 2013. [Citado 10-08-2016]. Disponible en internet: https://www.mecanismodedesarrollolimpio.com/pagina_los-6-gases-que-provocan-el-efecto-invernadero/

3.2 Década del 90: Crisis Ambiental.

3.2.1 El efecto invernadero

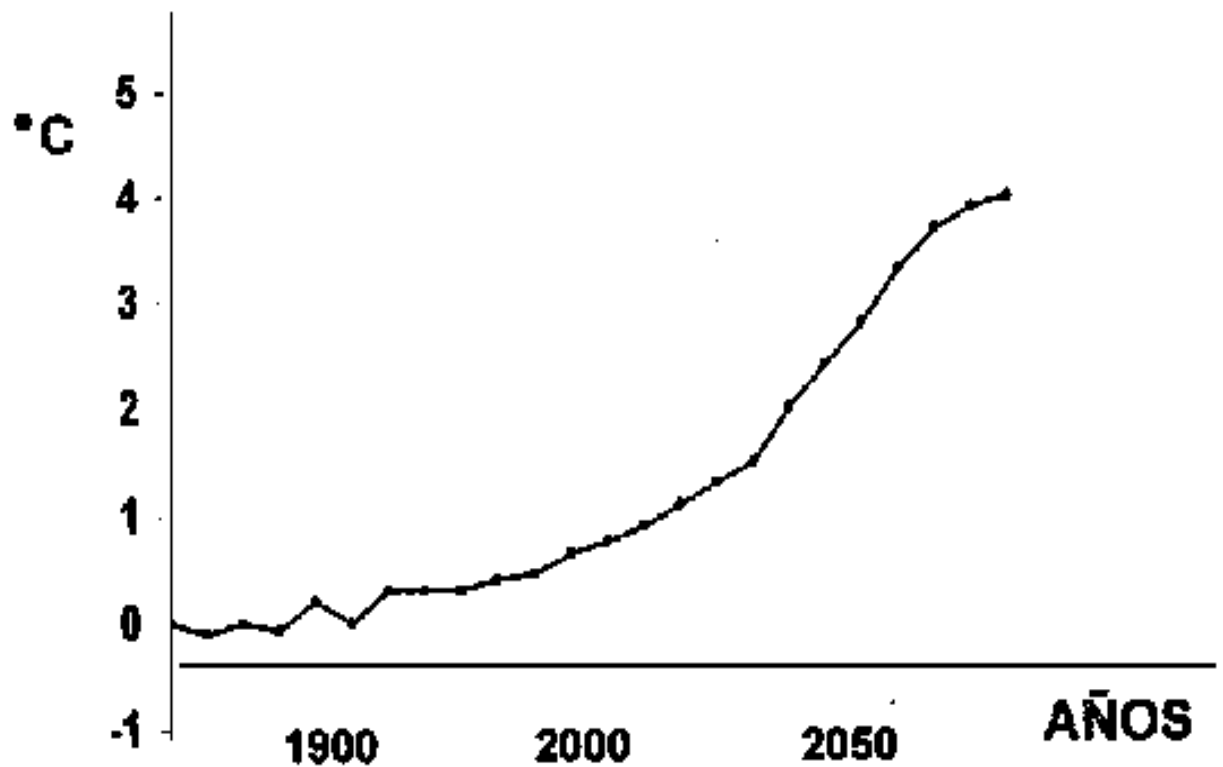
Figura 17: EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA EN LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS.



Fuente 15: I Jornada Internacional & III Nacional De Ingeniería Electromecánica.
Dr. C. Miguel Castro Fernández
Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas
La Habana, Cuba

Como se puede ver en la Figura 17, durante los últimos 100 años, se ha presentado un incremento significativo en la concentración de CO₂ en la atmosfera, el cual se ha acentuado aún más después de los años 90.

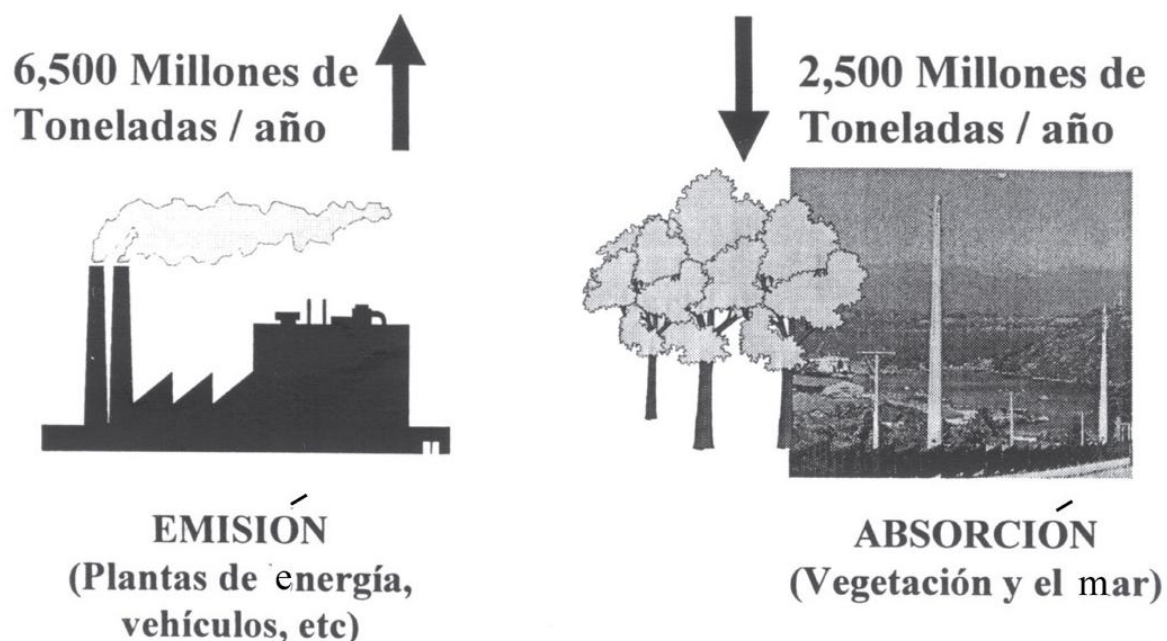
Figura 18: EVOLUCIÓN DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA TIERRA EN LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS



**Fuente 16: I Jornada Internacional & III Nacional De Ingeniería Electromecánica.
Dr. C. Miguel Castro Fernández
Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas
La Habana, Cuba**

Como se puede ver en la Figura 18, esta muestra el incremento de la temperatura en la tierra, la cual ha venido aumentando durante los últimos 100 años en casi 1°C y se realiza una proyección hasta el año 2050 en el cual de mantenerse la tendencia mundial en las emisiones de gases de efecto invernadero se llegaría a alcanzar un incremento en la temperatura de hasta 4°C.

Figura 19: CAUSA FUNDAMENTAL DEL EFECTO INVERNADERO.



Fuente 17: I Jornada Internacional & III Nacional De Ingeniería Electromecánica.
Dr. C. Miguel Castro Fernández
Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas
La Habana, Cuba

En la Figura 19 se puede ver como las emisiones de CO₂ de las plantas de energía de combustibles fósiles y de los vehículos, son mayores a las que puede absorber la vegetación y el mar.

3.3 La importancia de la variable ambiental.

La variable ambiental comienza a tomar importancia en el desarrollo de nuevos proyectos y en las políticas y estrategias que serán adoptadas por los diferentes gobiernos, debido a los compromisos adquiridos por las naciones que ratificaron el protocolo de Kyoto, encaminadas a disminuir los efectos del cambio climático por la contaminación ambiental.

Es un hecho reconocido en la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas que el clima y el medioambiente son recursos de todos y que su equilibrio puede verse afectado por las emisiones de gases de efecto invernadero, producidos especialmente en actividades industriales y de otro tipo, en particular por el sector transporte en las grandes ciudades del mundo.

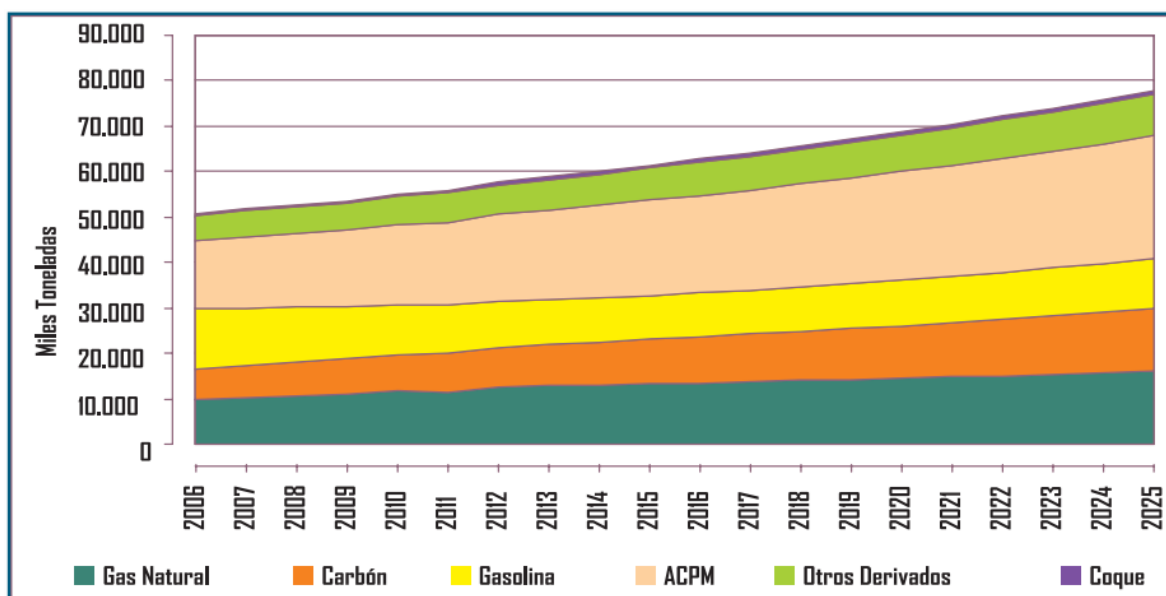
Un efecto colateral relacionado con el consumo poco racional de energía lo constituye la creciente concentración de población en ambientes urbanos, llegando a la conformación de grandes conglomerados que a su vez son grandes consumidores de energía, haciendo cada vez más complejo y difícil de tratar el problema de la contaminación ambiental urbana. El crecimiento de los índices de mortalidad y morbilidad y los correspondientes costos asociados a efectos de exposición a diferentes formas de contaminación del aire urbano, se convierten en motivo de preocupación para los planificadores.

Los impactos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles (como petróleo y carbón) y la creciente toma de conciencia de la población sobre la necesidad de recuperar y preservar un ambiente sano, son las principales fuerzas que están direccionando cambios en la industria de energía, en los patrones de consumo y en tecnologías de uso final.

3.4 Emisiones de CO₂

Como se puede ver en la Figura 20, el PEN (Plan Energético Nacional) presenta a continuación las emisiones de CO₂ utilizando los factores de emisión de los combustibles colombianos que difieren levemente de los promedios mundiales utilizado por el Panel Internacional de Cambio Climático, ya que estos factores dependen directamente del contenido de carbono en cada fuente disponible.

Figura 20: Grafica de la Evolución de las emisiones de CO₂ en el escenario base.

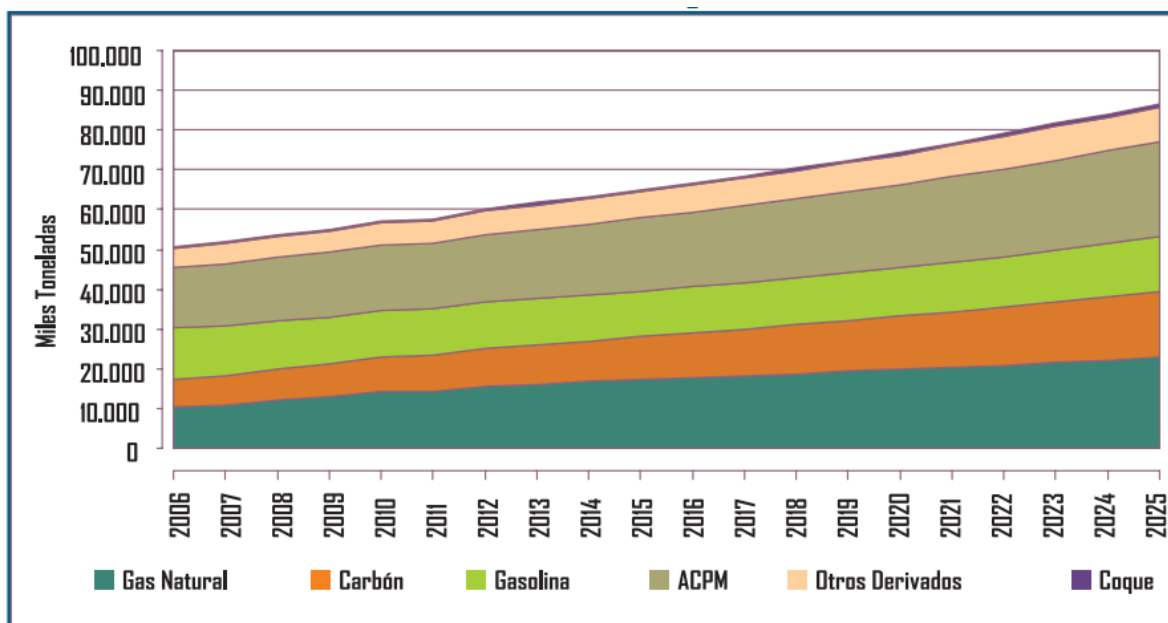


Fuente de grafica 9: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>

Los resultados muestran en el escenario base un incremento de 27 millones de toneladas de CO₂ en el periodo de proyección, con una tasa de crecimiento interanual del 2.2%, con un aumento significativo de la tasa de crecimiento de las emisiones del ACPM cuyo incremento promedio anual alcanza el 3.1%, lo que en términos absolutos corresponde a 11,8 millones de toneladas de CO₂.

Como se puede ver en la Figura 21, en el caso sensibilidad las emisiones de CO₂ crecen a una tasa interanual del 2.8%, siendo el carbón el energético con mayor aporte de CO₂, el cual pasa de emitir 6,9 millones de toneladas al inicio del periodo a 16.5 millones de toneladas en el 2025. Igualmente, la emisiones provenientes de gas natural se incrementan un 120% que representa un aumento de 12.5 millones de tonelada en el horizonte de estudio y un aumento de 9 millones de toneladas de CO₂ en el 2025 frente al escenario base.³²

Figura 21: GRAFICA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ CASO SENSIBILIDAD



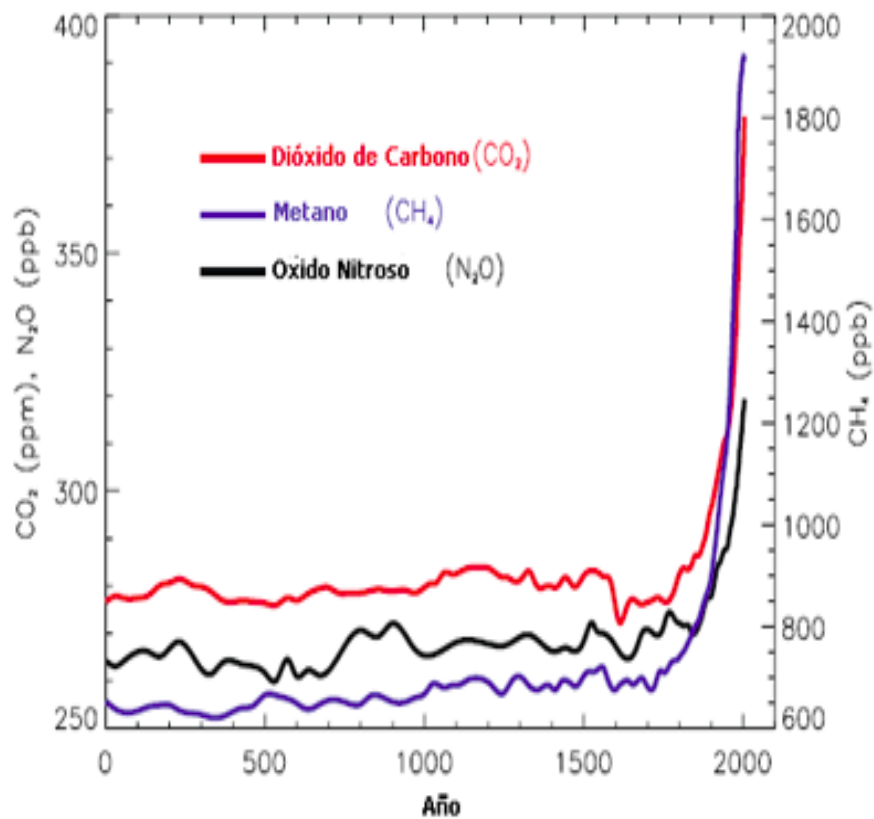
Fuente de grafica 10: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>

³² UPME. Plan Energético Nacional Contextos y Estrategias 2006-2025. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2006. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>

3.5 Emisiones de metano y otros gases de efecto invernadero

En la Figura 22 se aprecia la evolución en la emisión de otros gases de efecto invernadero frente al CO_2 . Tal como se aprecia, el Metano que es potencialmente 24 veces más acelerador del cambio climático, se ha disparado en forma dramática en la última década.

Figura 22: Grafica de la Evolución de otros gases GEI frente al CO_2



Fuente de grafica 11: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/imagenes/concentraciones.png>

3.6 Los rellenos sanitarios generan gran cantidad de metano

La razón básica para que se genere metano en los rellenos sanitarios es que contienen gran cantidad de residuos orgánicos que al ser descompuesto por bacterias en sustancias inorgánicas, generan metano como residuo del proceso.

Este es un gran problema en grandes vertederos tal como el de Doña Juana y los demás en las principales ciudades de Colombia. Actualmente se libera metano en forma descontrolada a la atmósfera sin que se haga aprovechamiento energético de este valioso gas.

Estrategias

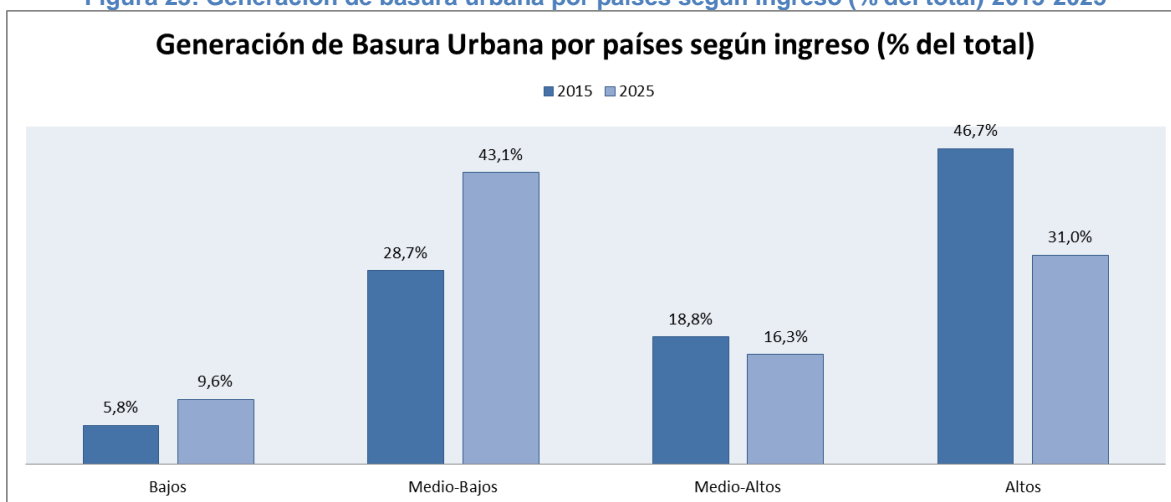
El presente proyecto puede hacer parte de las estrategias para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, obviamente que aparte del CO₂ la implementación del proyecto contribuiría sustancialmente a evitar la emisión de grandes cantidades de Gas Metano en los rellenos sanitarios.

3.6.1 ¿Cómo se produce la basura en el mundo?

En el mundo el promedio per cápita diario de generación de residuos inútiles es de 1,2 Kg, en 2025 habrá aumentado un 18% aproximadamente.

Como se puede ver en la Figura 23, los países de renta alta son actualmente los mayores productores de basura urbana en el mundo, aportando el 46,7% de la generación global. Sin embargo, esta tendencia se revertirá, ya que se calcula que en la próxima década, la población urbana de los países de ingresos medios-bajos (actualmente el 43,4% de la población urbana mundial) aumente en más de 700 millones de personas, elevando significativamente el consumo, dando lugar a mayores cantidades de desperdicios en las ciudades.

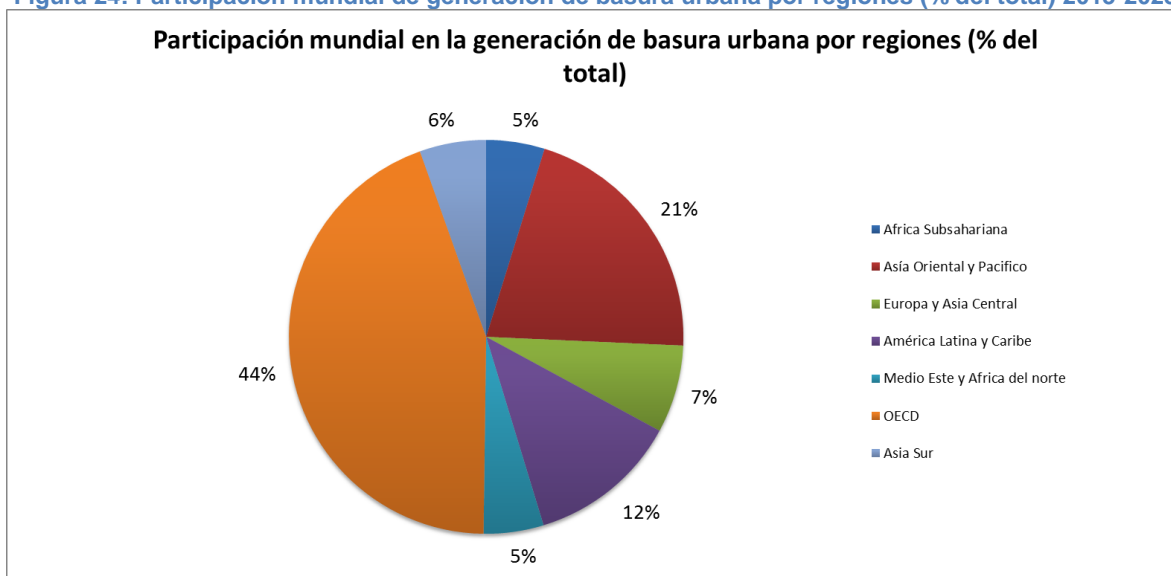
Figura 23: Generación de basura urbana por países según ingreso (% del total) 2015-2025



Fuente 6: http://static.iris.net.co/dinero/upload/images/embedded/2015/8/28/753_19_18_33.png

Como se puede ver en la Figura 24, los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OCDE son hoy en día los que más producen basura en el planeta aportando el 44% de la generación total. Medio Oriente, África Subsahariana y Asia Sur son las regiones que menos aportan al nacimiento de nuevos desperdicios mundiales con menos del 18% entre las tres.

Figura 24: Participación mundial de generación de basura urbana por regiones (% del total) 2015-2025



Fuente 7: http://static.iris.net.co/dinero/upload/images/embedded/2015/8/28/753_19_19_35.png

Colombia genera 0,95 Kg de basura urbana por habitante al día en la actualidad. En el 2025 se espera genere 1,5 Kg, es decir, un 57% más superior al promedio de crecimiento latino americano y del mundo.³³

3.6.2 Objetivos del aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos- RSU.

1. Evitar la contaminación ambiental que producen los gases de efecto invernadero - GEI, resultantes de la descomposición de la Biomasa contenida en las basuras y desechos producidos por las comunidades, que ya no se llevarían a los basureros y rellenos sanitarios, sino a una planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos.

2. Generar energía renovable con el combustible orgánico, producto de la transformación y el aprovechamiento de la Biomasa contenida en los residuos sólidos orgánicos urbanos, en plantas convencionales de generación de energía térmica.³⁴

3.7 Consumo anual de carbón por TERMOPAIPA.

El consumo de carbón térmico en Termopaipa se ubicó en 1.045.399 toneladas, cifra superior en un 8,21 % a la registrada durante el año 2013, lo cual es consecuente con la alta despachabilidad de la Central durante toda la vigencia

³³ Dinero. ¿CÓMO SE PRODUCE LA BASURA EN EL MUNDO?. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 31-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.dinero.com/economia/articulo/generacion-basura-mundo/212829>

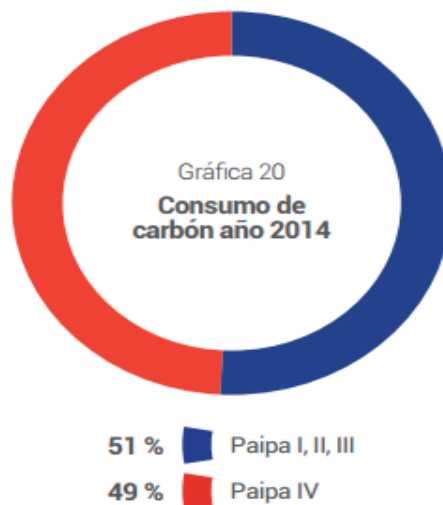
³⁴ CORPORACION AMBIENTAL PLANETA AZUL ONG. Una planta de generación de energía renovable, mediante el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos – RSU- por el sistema Termólisis®. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

2014. Del total del carbón consumido, el 51 % correspondió a las unidades I, II y III y el 49 % restante a la Unidad IV. (Ver Figura 25)

Como consecuencia de esta combustión se liberan anualmente **2.63 Millones de toneladas de CO₂** 100% de origen fósil que aumentan progresivamente el calentamiento global.³⁵

Figura 25: Grafica del Consumo de carbón en Termopaipa en el año 2014.

Año 2013 (ton.)	Año 2014 (ton.)	Variación (%)
966.089	1.045.399	8,21



Fuente 8: http://www.gensa.com.co/psw/wp-content/uploads/2015/03/Gestion_Sostenible_2014_GENSA.pdf

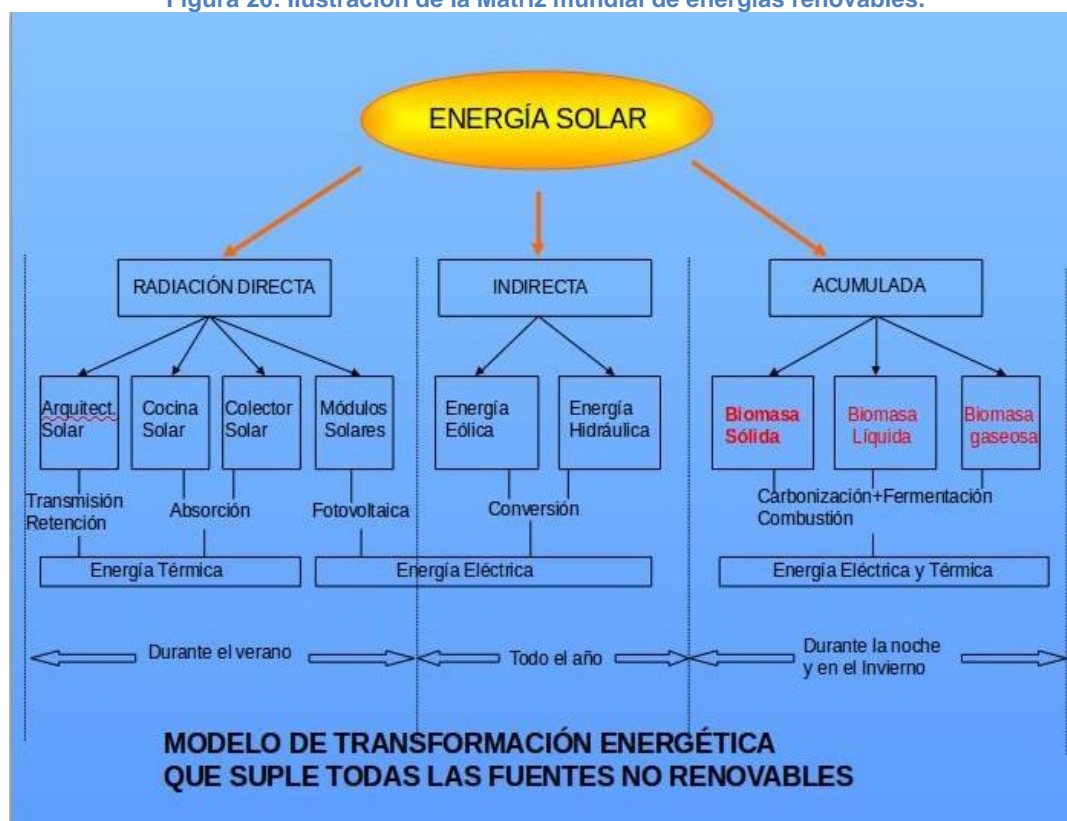
(*) Carbón referenciado a 6.300 Kcal/Kgr

³⁵ GENSA. Gestión sostenible 2014. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.gensa.com.co/psw/wp-content/uploads/2015/03/Gestion_Sostenible_2014_GENSA.pdf

4. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA.

La energía que contiene la biomasa es energía solar acumulada a través de la fotosíntesis, proceso químico por el cual las plantas utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan, como por ejemplo el CO_2 , en compuestos orgánicos, quedando almacenada, parte de esa energía química, en forma de materia orgánica, que podrá recuperarse quemándola directamente o, bien, transformándola en combustible mediante varias tecnologías. Se considera básicamente como energía solar acumulada sostenible, tal como se aprecia en la matriz mundial de energías renovables. (Ver Figura 26)

Figura 26: Ilustración de la Matriz mundial de energías renovables.



Fuente 9: Prof. Dr. Ernst Schrimpff
Edición y actualización: Ing. Luis Gabriel Becerra Riveros.

La entropía de la atmósfera tiende a aumentar con la combustión y el problema se acentúa con los de tipo incompleto, liberando monóxido de carbono CO además de la emisión de óxidos de azufre SOx y de nitrógeno NOx. Estos compuestos no son reciclados en el proceso de fotosíntesis y a cambio reaccionan con la atmósfera produciéndose ácido sulfúrico y nítrico. El monóxido de carbono CO reacciona con la atmósfera y se genera Ozono Sub-atmosférico el cual produce graves daños y quemaduras en la vegetación.³⁶

Basándose en la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588, la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), cataloga la biomasa como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización” La exclusión se refiere, evidentemente, al carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no es comparable con lo que se denomina el balance neutro de la biomasa, sobre las emisiones de CO₂. (Ver Figura 27)

La base molecular de la Biomasa, está contenida en el 100% de los elementos del Reino Vegetal y del Reino Animal. Cuando se aprovechan cultivos, como la caña de azúcar, esta se sembrará permanentemente, obteniendo azúcar, alcoholes y generación de energía; de igual manera, cuando se usan los residuos sólidos orgánicos urbanos -RSU-, que son producidos diariamente por las comunidades, volviéndose así un recurso renovable cada día.

³⁶ BECERRA, Luis G. JORNADA TÉCNICA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA. [Conferencia]. 1ª ed. Colombia, 2007. [Citado 23-08-2016]. Presentación power point: Preparémonos para el futuro energético.

La fermentación de los RSU, es una de las principales fuentes de Gases Efecto Invernadero (metano), que sirven para generación de energía.³⁷

La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual ya que es el que absorbe y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento (Ver Figura 28. Los combustibles fósiles, que son extraídos del subsuelo, contienen carbono capturado y almacenado en épocas remotas, hace miles de años, y su liberación en la actualidad contribuye al incremento de gases de efecto invernadero.

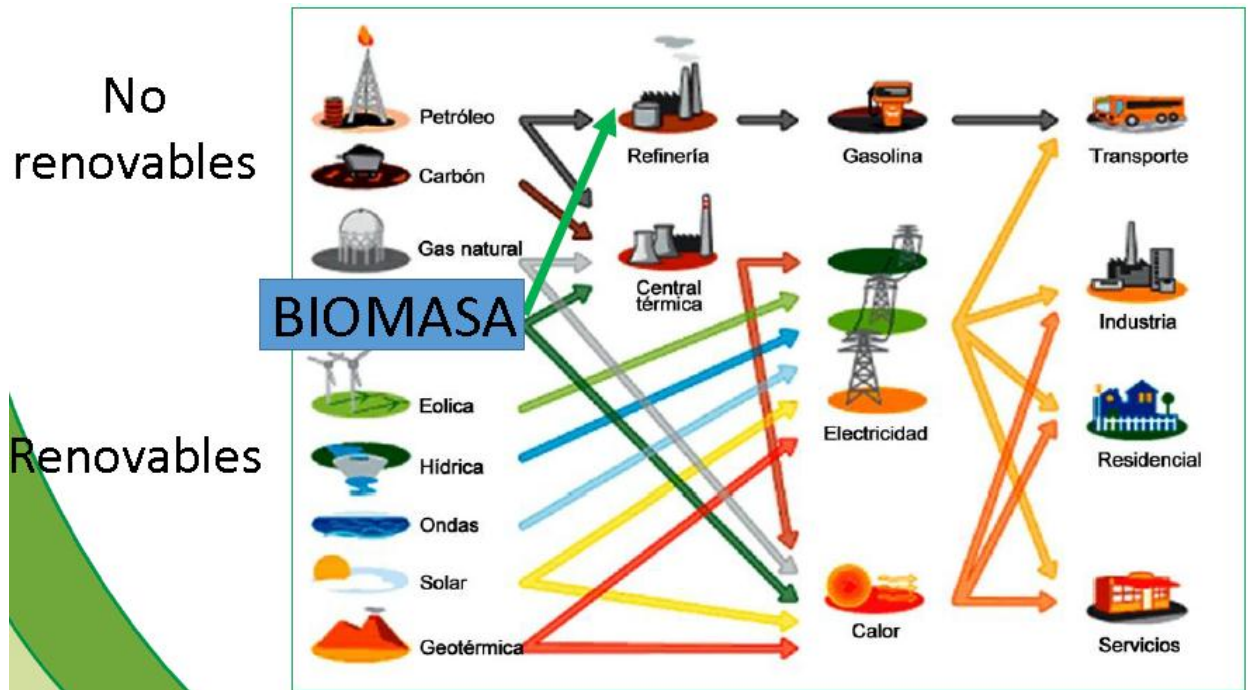
La Agencia Internacional de la Energía calcula que el 10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a la biomasa, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás. Gran parte de ese porcentaje corresponde a los países pobres y en desarrollo, donde resulta ser la materia prima más utilizada para la producción de energía.

Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles”.

³⁷ CORPORACION AMBIENTAL PLANETA AZUL ONG. Una planta de generación de energía renovable, mediante el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos – RSU- por el sistema Termólisis®. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

El Panel intergubernamental sobre Cambio Climático, ha previsto que a finalizar la presente centuria la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía debería de estar entre el 25 y el 46%.³⁸

Figura 27: Ilustración de los Combustibles: fósiles y renovables.



Fuente 10: <http://jimenapaola209.blogspot.com.co/2014/01/fuentes-de-energia.html>

En la Figura 27 se puede observar como la biomasa es el único recurso renovable que se puede desarrollar en las refinerías, centrales térmicas o para la generación de calor, llegando hasta sus usos finales en el sector transporte, en la industria, en el sector residencial y de servicios.

³⁸ ICOGEN. BIOMASA, APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO. [En línea]. 1ª ed. Barcelona. XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://icogen-sa.com/energ%C3%ADas-renovables/biomasa,-aprovechamiento-energ%C3%A9tico.html>

Figura 28: Ilustración de las Clases de Biomasa.



Fuente 11: <http://jimenapaola209.blogspot.com.co/2014/01/fuentes-de-energia.html>

4.1 Tipos de biomasa

La biomasa es más del 90% de los elementos que componen la vida del planeta, está compuesta principalmente de oxígeno O, hidrógeno H, nitrógeno N y carbono C.

La biomasa para energía se obtiene de los restos de aprovechamientos forestales, de las industrias de la primera y segunda transformación de la madera, de los productos agrícolas y forestales, de los residuos de explotaciones ganaderas (con

la aplicación de tecnologías y tratamientos amigables con el medio ambiente, se evidencia la optimización de los residuos y desechos generados por el sector ganadero, hasta el punto de crear energía eléctrica aprovechable en forma eficiente y rentable para la empresa ganadera), *de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos*, de cultivos implantados y explotados con el único objeto de la obtención de biomasa, los denominados cultivos energéticos, y, en general, de cualquier producto de origen orgánico susceptible de aprovechamiento energético.

4.1.1 Biomasa natural

La biomasa natural es la que se produce en ecosistemas naturales. La explotación intensiva de este recurso no es compatible con la protección del medio ambiente, aunque sea una de las principales fuentes energéticas en los países subdesarrollados.

La biomasa natural se produce sin la intervención del hombre para potenciarla o para modificarla.

4.1.2 Biomasa residual

La biomasa residual es la generada en las actividades humanas que utilizan materia orgánica. Su eliminación en muchos casos supone un problema. Este tipo de biomasa tiene asociadas unas ventajas en su utilización:

- Reduce la contaminación y riesgos de incendios.
- Reduce el espacio en vertederos.

- Los costes de producción pueden ser bajos.
- Los costes de transporte pueden ser bajos.
- Evita emisiones de gas metano CH₄
- Genera puestos de trabajo.
- Contribuye al desarrollo rural.

La biomasa residual se divide a su vez en una serie de categorías que se estudian a continuación.

4.1.3 Excedentes agrícolas

Los excedentes agrícolas que no sean empleados en la alimentación humana pueden ser considerados como biomasa con fines energéticos. Este uso de productos agrícolas utilizados en la cadena de alimentación humana ha provocado una mala fama injustificada del uso de la biomasa con fines energéticos, al haberse acusado a este uso de una subida del coste de determinados productos agrícolas que son la base de la alimentación en muchos países del tercer mundo y en vías de desarrollo.

Estos excedentes agrícolas pueden ser utilizados tanto como combustible en plantas de generación eléctrica como transformados en biocombustibles.

4.1.4 Cultivos energéticos

Los cultivos energéticos son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de energía. A diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como

características principales su gran productividad de biomasa y su elevada rusticidad, expresada en características tales como resistencia a la sequía, a las enfermedades, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales.

Entre los cultivos energéticos se pueden incluir cultivos tradicionales (cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas) y otros no convencionales (cynara, pataca, sorgo dulce) que están siendo objeto de numerosos estudios para determinar sus necesidades de cultivo.³⁹

4.2 Transición energética

A nivel mundial se postula que por razones ambientales, sociales y económicas es necesaria una transición energética, entendida como un proceso de cambio en los modelos de producción y utilización de energía, hacia sistemas más equitativos, mejor distribuidos geográficamente, y menos contaminantes.

La transición energética implica cambios radicales: se necesitan grandes esfuerzos para aumentar la eficiencia de uso final, lograr ahorros de energía primaria, desarrollar un portafolio amplio de sustitutos a los combustibles fósiles con las correspondientes tecnologías de producción y uso final.

³⁹ GARCÍA, Santiago. CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE BIOMASA. [En línea]. 1ª ed. España, XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.plantasdebiomasa.net/>

Las fuentes de energía renovables se han reconocido como algunas de las alternativas más prometedoras para superar los problemas del presente sistema energético basado en combustibles fósiles. Entre ellas están la solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la bioenergía, que en su conjunto pueden tener un rol importante en la transición energética, tanto por su capacidad para reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como por ser aplicables a una gran diversidad de usos finales. En particular, la biomasa puede procesarse para obtener biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos renovables y de bajas emisiones que pueden reemplazar a los combustibles fósiles.

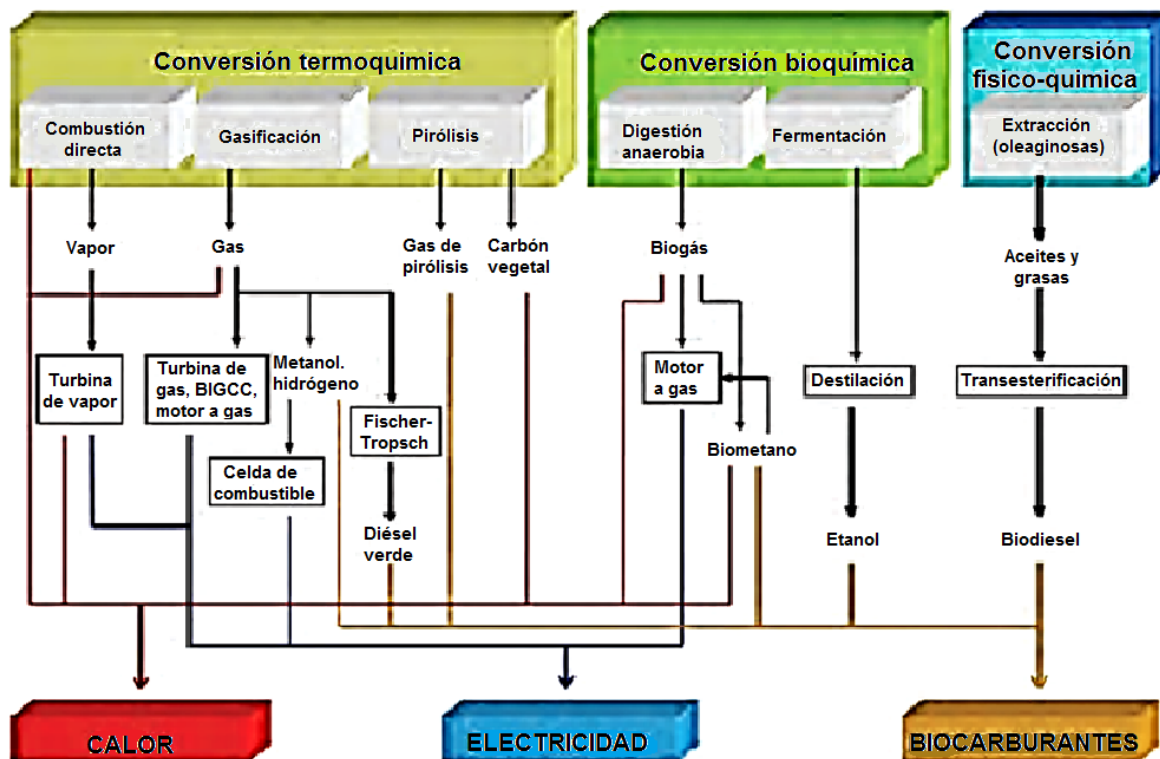
La producción de biomasa puede brindar numerosos servicios ambientales de tipo local y global que incluyen el control de la erosión del suelo, la regulación del ciclo hídrico y la protección de hábitats de fauna silvestre.

4.2.1 Características de la bioenergía

La bioenergía presenta varias ventajas con respecto a otras fuentes de energía:

- **Es almacenable:** la energía de la biomasa está almacenada en la materia orgánica. Por este motivo es una forma de energía que no tiene la intermitencia de otras renovables como la solar y la eólica, lo que le da ventajas para la generación de calor o electricidad.
- **Permite satisfacer la mayor parte de los usos finales:** es la única energía renovable que puede sustituir a los combustibles fósiles en todas las aplicaciones y finalidades, porque permite producir calor, fuerza motriz, electricidad y biocarburantes líquidos. (Ver Figura 29)
- **Es ubicua:** la biomasa se puede encontrar o cultivar en casi todas partes, y está disponible en forma concentrada como subproducto de procesos agroindustriales, residuos de actividades humanas y como estiércol de animales.
- **Es escalable:** hay sistemas de aprovechamiento de biomasa y producción de bioenergía desde muy bajas (< 1 kW) hasta grandes potencias ($> 300,000$ kW); esto permite una amplia versatilidad para el desarrollo de sistemas de suministro energético a escalas locales y mayores.
- **Es comercialmente madura:** muchas de las tecnologías para el uso energético de biomasa son rentables y están ampliamente desarrolladas a nivel comercial.

Figura 29: Principales rutas y tecnologías de conversión de la biomasa a energía útil.



Fuente 12: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

La leña, los residuos agrícolas y algunos residuos sólidos municipales pueden utilizarse con la tecnología de combustión directa para la generación de calor, electricidad o cogeneración a mediana y gran escala. Algunas de estas materias primas requieren tratamientos previos como reducción de tamaño, secado o transformación a pellets.

4.2.2 Biocombustibles sólidos para aplicaciones industriales

Para utilizar la biomasa en aplicaciones industriales de generación de calor y electricidad a gran escala se requiere su combustión o gasificación para producir fluidos calientes (gases, aire, agua o vapor). Así, se puede sustituir gas natural, petróleo o carbón por combustión directa y co-combustión en la generación eléctrica. Estas son aplicaciones que van en aumento en el mundo y permiten una significativa mitigación de GEI. La viabilidad de producción de biocombustibles sólidos depende del costo, la disponibilidad y transportabilidad de la biomasa, y en muchos casos de un procesamiento previo como molienda, compresión o secado, para hacerla más homogénea, de mayor contenido energético y más fácil manejo, almacenamiento y transporte.⁴⁰

4.3 Centros de acopio de Biomasa:

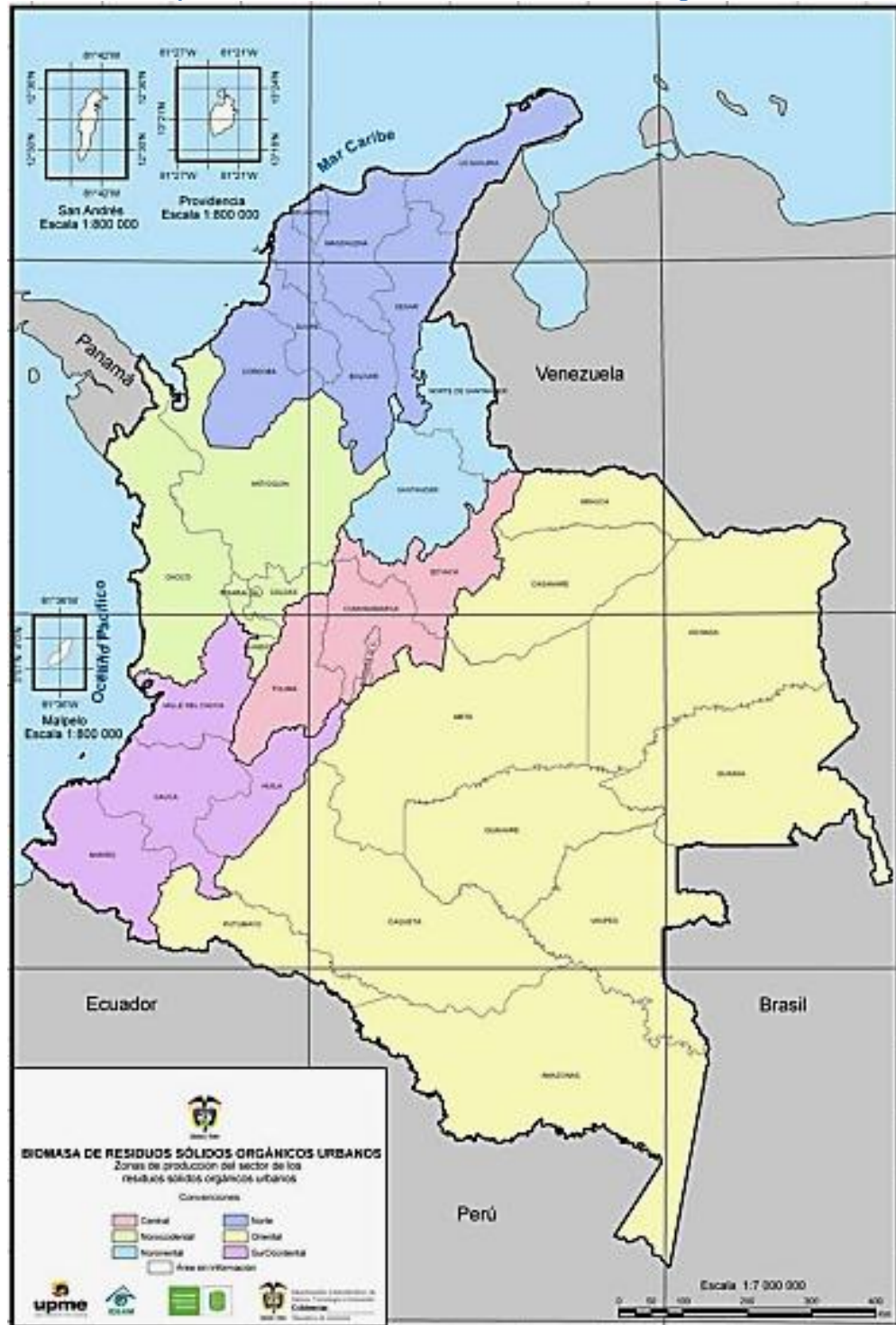
Como se puede ver en la Figura 30, contempla la información correspondiente a las zonas de producción del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos en Colombia el cual está dividido en seis zonas; zona Central de color malva, Noroccidental de color verde claro, Nororiental de color aguamarina, Norte de color turquesa, Oriental de color maíz y Sur Occidental de color lavanda o lila.

En la Figura 31, se puede ver que el color rojo naranja representa la zona con el mayor potencial energético de los residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU)

⁴⁰ MASERA Omar, CORALLI Fabio, GARCÍA Carlos, RIEGELHAUPT Enrique, ARIAS Teresita, VEGA Julián, DÍAZ Rodolfo, GUERRERO Gabriela, CECOTTI Laura. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectivas. [En línea]. 1ª ed. México, 2011. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

centros de acopio y plazas de mercado y poda en Colombia, las zonas de color naranja representan la segunda mayor producción del potencial energético de los RSOU, el color ámbar y amarillo representan la tercera y cuarta zona respectivamente, las zonas de color blanco representan el área sin información.

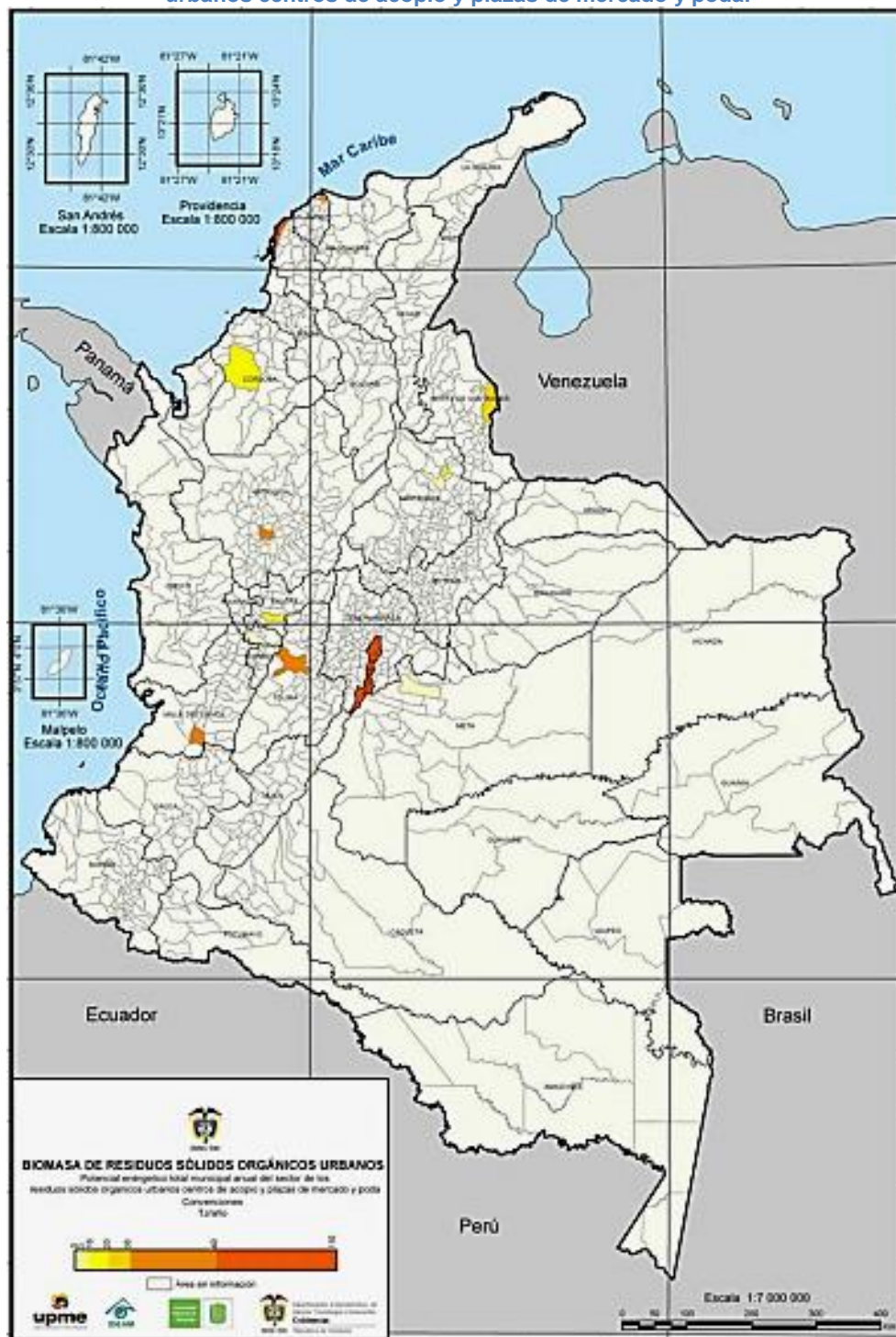
Figura 30: Zonas de producción del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos.



Fuente 13:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

Figura 31: Potencial energético total municipal anual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos centros de acopio y plazas de mercado y poda.



Fuente 14:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

4.3.1 Densificación energética.

Es posible mejorar la densidad energética de la biomasa así como disminuir su contenido de humedad para evitar su descomposición. (Ver Figuras 32, 33 y 34)

Figura 32: Briqueteado



Figura 33: Torrefacción



Figura 34: Peletizado



Fuente 15: Acolgen Octubre 2015 TECSOL.

- **Briqueteado:** Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, hornos y calderas. Es un producto 100 % ecológico y renovable, catalogado como bio-energía sólida, que viene en forma cilíndrica o de ladrillo y sustituye a la leña con muchas ventajas.
- **Torrefacción:** Tostar o someter una sustancia a un fuego vivo que produce una carbonización incompleta.
- **Peletizado:** denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. El término es utilizado para referirse a diferentes materiales.

4.4 Centrales termoeléctricas de biomasa.

Se denomina biomasa a la materia orgánica producida en procesos naturales. Así, la llamada energía de la biomasa es la que se obtiene a partir de la vegetación, los residuos forestales y agrícolas (restos de poda, paja, rastrojos...) o ciertos cultivos específicos, como el girasol y la remolacha (cultivos energéticos), al igual que los residuos sólidos orgánicos urbanos. La biomasa se puede tratar mediante diversos procesos físicos y químicos naturales (descomposición, fermentación...) en instalaciones llamadas digestores, con el fin de obtener combustibles como el biogás o el alcohol.

Una central de biomasa es una central térmica en la que el combustible que se quema procede de la biomasa. El vapor de agua así generado mueve la turbina conectada a un generador (alternador), lo que produce la electricidad.

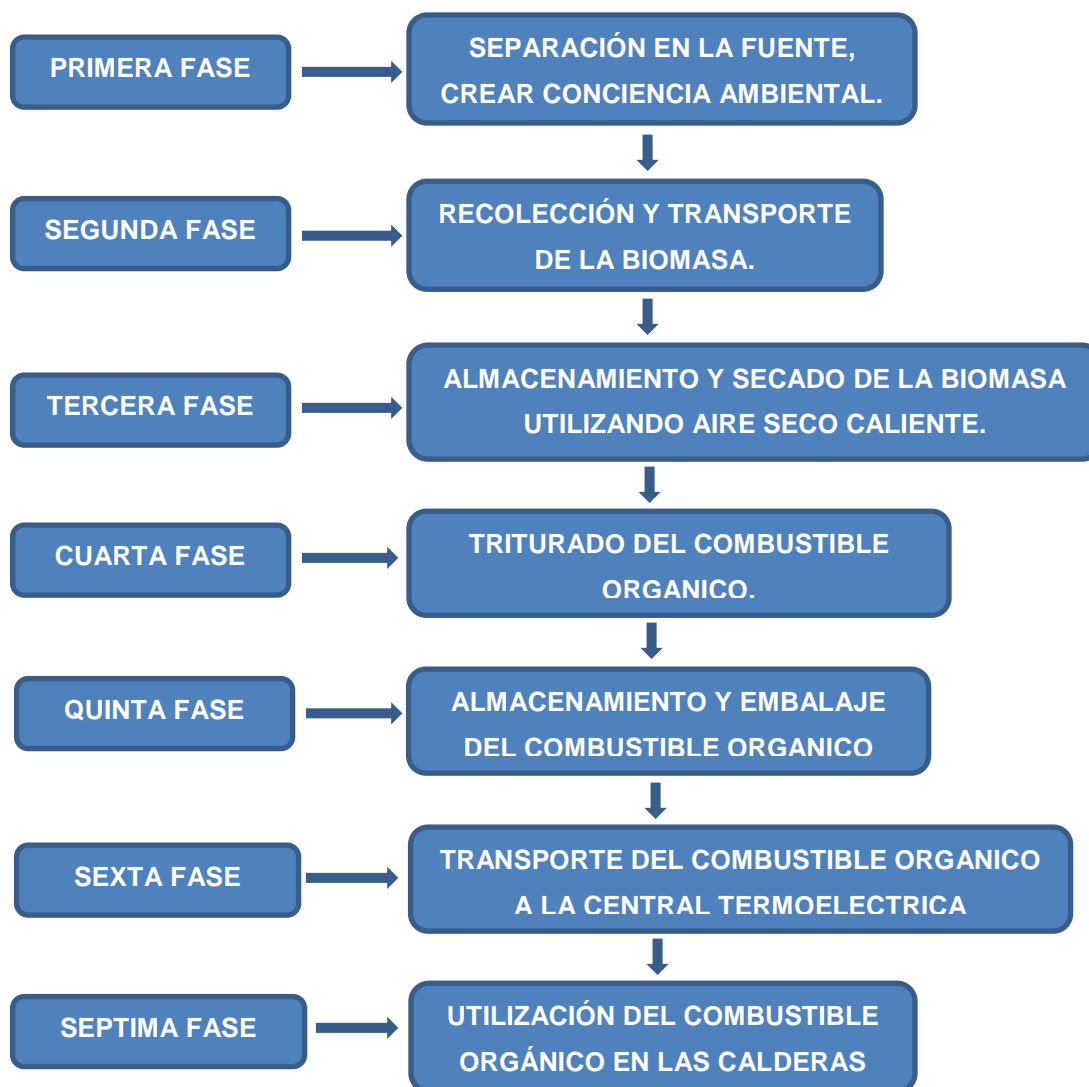
La importancia de estas centrales es que dan un uso energético a la biomasa y a los residuos sólidos orgánicos urbanos, que de otro modo serían inservibles. En cualquier caso, aunque contaminan relativamente poco, también emiten dióxido de carbono a la atmósfera, pero se trata del mismo dióxido de carbono que fue tomado de la atmósfera, absorbido por las plantas y los árboles y utilizado en el proceso de la fotosíntesis, que tiene como resultado la producción del oxígeno que animales y humanos necesitan para respirar.

El funcionamiento es muy parecido por no decir igual al de las centrales térmicas convencionales, lo único que cambia es el combustible.⁴¹

Como se puede ver en la Figura 35, en primer lugar, la valorización energética de biomasa debe disponer de un sistema de pretratamiento de biomasa, cuyos fines principales son la disminución de la humedad que contiene, la adecuación del tamaño y la uniformidad de la biomasa, al objeto de uniformizar las condiciones de entrada en la caldera y conseguir la mayor eficiencia del sistema de combustión.

⁴¹ ATOM. Centrales Térmicas de Biomasa. [En línea]. 1ª ed. España, 2009. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://centralese.blogspot.com.co/2009/02/centrales-termicas-de-biomasa.html>

Figura 35: PASOS PARA OBTENER LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.



Fuente 16: Luis Ariel Riaño Ocampo.

4.5 El pretratamiento de la biomasa.

La biomasa, antes de proceder a su combustión en la caldera, es necesario someterla a un proceso previo de preparación, que facilite el proceso de reacción entre combustible y comburente. Este proceso facilita la combustión ya que ajusta la granulometría y grado de humedad, fundamentalmente.

Para el análisis del proceso, se pesa la muestra de la materia orgánica sin procesar y en un recipiente vacío, con el fin de conocer la pérdida de humedad durante cada una de las fases del proceso. Para este caso en particular el peso de la muestra sin el recipiente se puede observar en la Tabla 3.

Tabla3: Datos técnicos del procesamiento de residuos sólidos orgánicos.

Diferentes Estados	Peso en Gramos (gr)	Observaciones
Peso del Recipiente	364	Para pesar la MO se utilizó un balde
Peso de la materia orgánica	5142	La muestra está compuesta por desperdicios orgánicos de la cocina
Peso del Recipiente + Peso de la materia orgánica	5506	Con la ayuda de una gramera se tomaron los datos del PR Y PMO
Peso del Recipiente + Peso de la funda + Peso de la Materia Orgánica Triturada y Centrifugada	2776	Para evitar la dispersión de la MO en el centrifugado, se utilizó una funda de tela
Peso del Recipiente + Peso de la Materia Orgánica Triturada y Seca	964	Se volvió a pesar la muestra de la MO seca, para conocer su pérdida de humedad
Peso de la Materia Orgánica Triturada y Seca	600	La MO se redujo en un 70% su volumen y su contenido de humedad quedo en 11,66%
MO= Materia orgánica		
PR= Peso del recipiente		
PMO= Peso de la materia orgánica		
Pfunda= Peso de la funda		
PMOTC= Peso de la materia orgánica triturada y centrifugada		
PMOTS= Peso de la materia orgánica triturada y seca		

Fuente 17: Luis Ariel Riaño Ocampo

Después de realizar pruebas de secado de la materia orgánica sin tratamiento alguno se evidencio que el tiempo de secado dentro del deshidratador solar casero, no era viable para el proceso en ese momento, ya que no se contaba con un tambor rotatorio ni un equipo para el secado de aire, lo cual sin lugar a dudas facilitaría el secado de los residuos sólidos orgánicos con el aire seco caliente, por tal motivo se optó por triturar los RSO y extraer la mayor cantidad de sumos orgánicos contenidos dentro de la biomasa residual, con el fin de conocer la reducción del volumen de la materia orgánica y facilitar su secado dentro del deshidratador solar casero.

Figura 36: Foto de la Primera fase del tratamiento de la MO



Figura 37: Foto de la Segunda fase del tratamiento de la MO



Fuente 18: Luis Ariel Riaño Ocampo

En la Figura 36, se puede ver la primera fase del proceso en la cual se aprecia una reducción del 70% del volumen de la materia orgánica ya triturada completamente.

En la Figura 37, se puede ver que luego de realizar un proceso de centrifugado a la materia orgánica ya triturada, esta misma presenta una reducción de peso del 69.15% de zumos orgánicos, los cuales sirvieron como abono para la tierra, una de las ventajas en este proceso, es que la materia orgánica tiene un aspecto pegajoso, lo cual no sería un estado idóneo para el secado con aire seco caliente, dentro del tambor rotatorio, ya que esta materia orgánica se pegaría a las paredes del tambor rotatorio. Por otra parte ese aspecto pegajoso favorece la producción de pellets de residuos sólidos orgánicos urbanos.

4.5.1 Secado de la Biomasa utilizando un deshidratador solar casero.

Para el proceso de secado de la biomasa, se construyo un deshidratador solar casero, el cual se puede apreciar en la Figura 39.

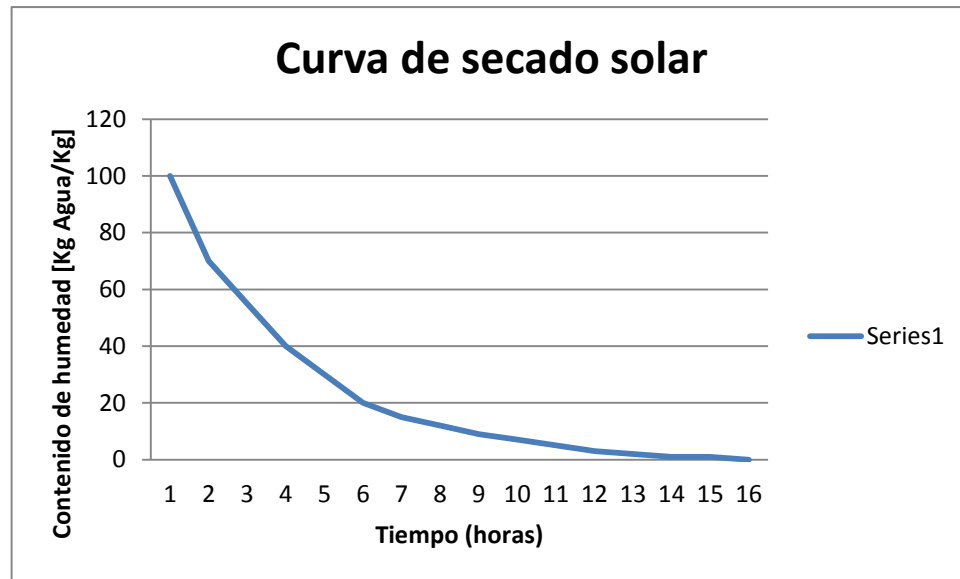
En la Tabla 4, se puede observar las diferentes temperaturas alcanzadas dentro del deshidratador solar casero, para el cual la maxima temperatura alcanzada fue de 52°C al medio dia y con cielos completamente despejados.

Tabla 4: Temperaturas alcanzadas dentro del deshidratador solar casero.

Fecha	Hora	Temperatura dentro del colector solar	Temperatura ambiente
08/04/2015	10:00 a.m	30°C	21°C
	11:00 a.m	44°C	21°C
	12:00 p.m	52°C	22°C
	2:20 p.m	32°C (colector en la sombra)	20°C
	5:00 p.m	24°C (colector en la sombra)	19,5°C
09/04/2015	8:00 a.m	18°C	16°C
	9:00 a.m	19°C (cielo nublado)	17°C
	10:00 a.m	23°C (día nublado)	18°C
	1:00 p.m	31°C (día nublado)	19°C
	2:30 p.m.	28°C (colector en la sombra)	18°C
10/04/2015	8:00 a.m	18°C	16°C
	10:00 a.m	30°C	21°C
	11:00 a.m	43°C	21°C
	12:00 p.m	52°C	22°C
	2:00 p.m	30°C (colector en la sombra)	20°C
	4:00 p.m	24°C (colector en la sombra)	19°C

Fuente 19: Luis Ariel Riaño Ocampo

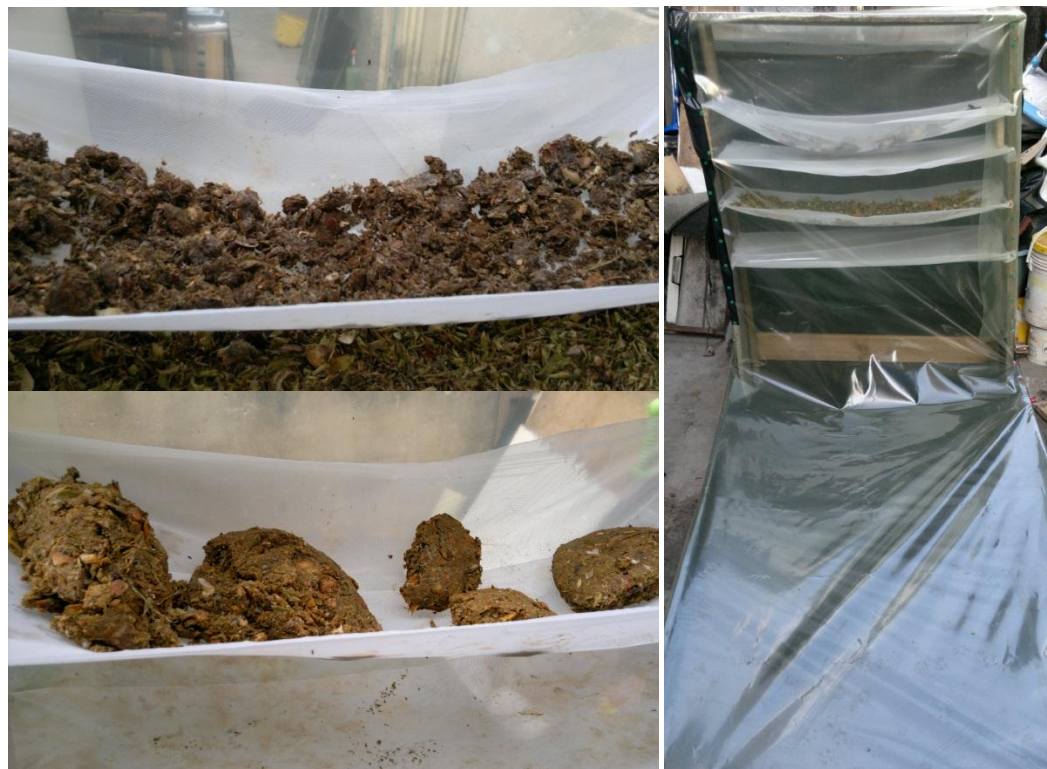
Figura 38: Grafica de la Curva de secado solar



Fuente 20: Luis Ariel Riaño Ocampo

En la Figura 38, se puede observar la curva de secado solar en la cual, el efecto de la temperatura en la curva de secado es mayor durante la etapa inicial y va disminuyendo hacia la última etapa. Este efecto es atribuido a la rápida redistribución de la humedad y a la migración hacia la superficie de la muestra en la etapa inicial de secado como consecuencia del aumento del calor sensible adquirido a una mayor temperatura del aire. El resultado es un aumento en la tasa de evaporación de humedad de la superficie de la muestra.

Figura 39: Foto Tercera fase de tratamiento de la MO



Fuente 21: Luis Ariel Riaño Ocampo.

En la Figura 39, se puede apreciar la tercera fase del proceso, la cual se realiza con la ayuda de un deshidratador solar casero, que alcanzaba temperaturas de 52°C. El proceso de secado dentro de este deshidratador solar casero, demoraba tres días, ya que no era posible que el mismo pudiera estar recibiendo una radiación solar directa durante todo el día, debido a las sombras que se generaban por las paredes altas del patio donde se encontraba el deshidratador, es decir que durante todo el día, solo recibía tres horas de sol directo sobre el colector solar.

Figura 40: Foto de la Cuarta fase de tratamiento de la MO



Fuente 22: Luis Ariel Riaño Ocampo.

En la Figura 40, se puede apreciar la cuarta fase del proceso, en la cual ya tenemos como resultado el combustible orgánico listo para su combustión, con una humedad del 11.66% y una reducción del volumen total del 70%.

4.5.2 Pérdida de humedad

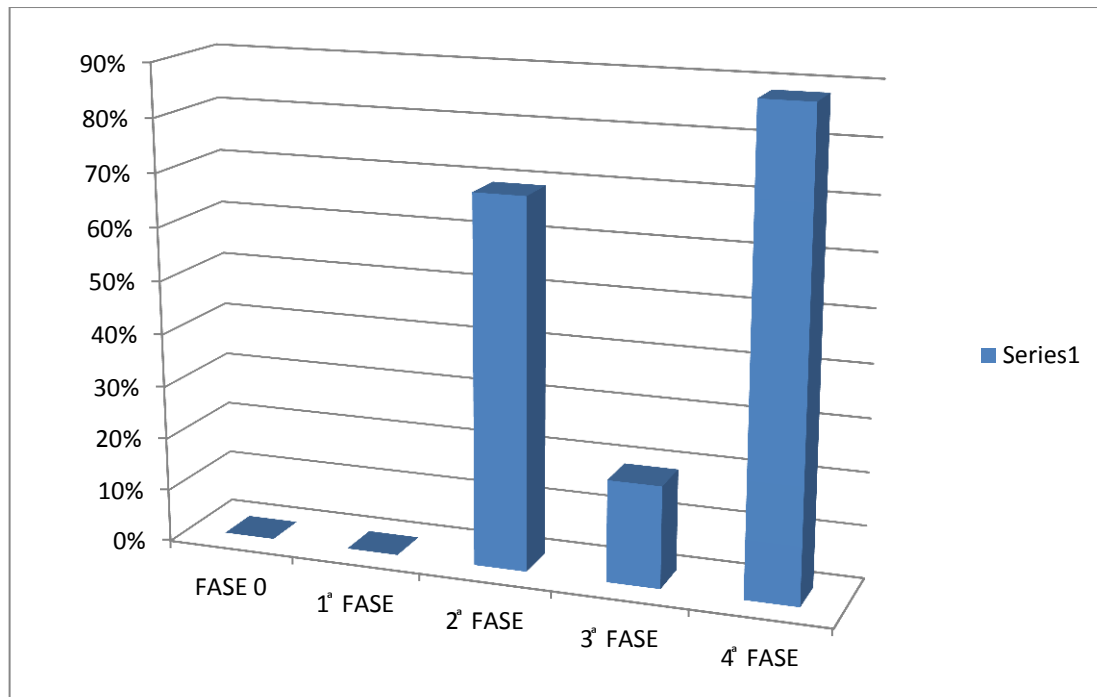
En la Tabla 5, se puede apreciar la pérdida de humedad y volumen en cada una de sus diferentes fases del tratamiento de la materia orgánica, para la obtención del combustible orgánico.

Tabla 5: Perdida de humedad y volumen en cada una de las fases del proceso.

FASE	ESTADO DE LA MATERIA ORGANICA	REDUCCION DEL VOLUMEN	PERDIDA DE HUMEDAD
FASE 0	Sin tratamiento	0%	0%
1ª FASE	Triturada	70%	0%
2ª FASE	Triturada y centrifugada	70%	69,15%
3ª FASE	Deshidratador solar	70%	19.19 %
4ª FASE	Combustible orgánico	70%	88,34%

Fuente 23: Luis Ariel Riaño Ocampo

Figura 41: Grafica de la Perdida de humedad en cada una de las fases del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos.



Fuente 24: Luis Ariel Riaño Ocampo.

En la Figura 41, se puede observar la pérdida de humedad en cada una de las diferentes fases del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos, en la cual la mayor pérdida de agua se registra en la segunda fase del proceso con un 69.15% de pérdida de zumos orgánicos en el centrifugado, los cuales se utilizaron como abono para la tierra. La humedad restante es extraída en el deshidratador solar casero, dando como resultado un combustible orgánico con una humedad del 11.66%

4.5.3 Biomasa Útil.

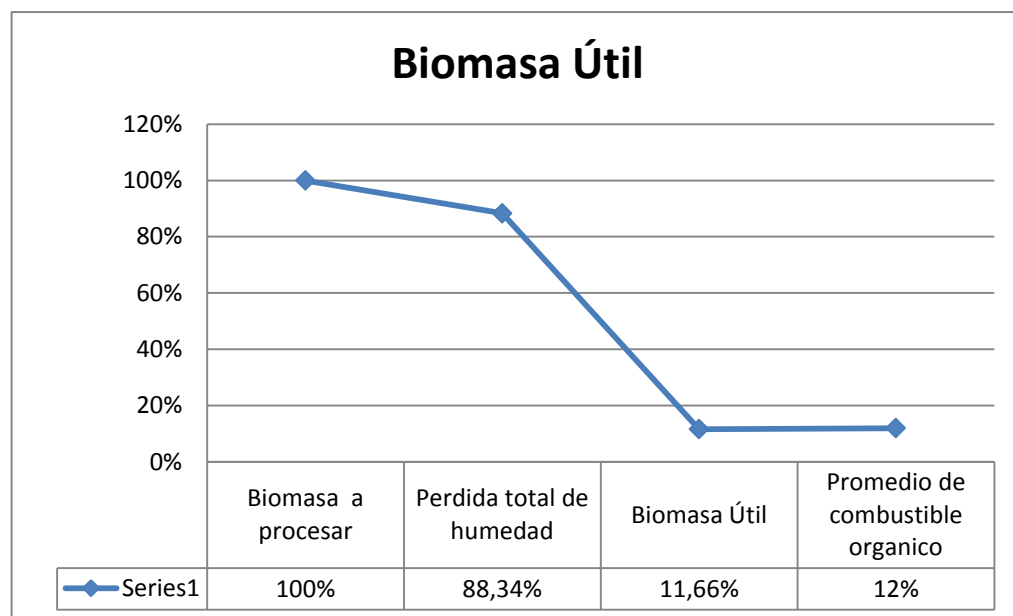
Los residuos sólidos orgánicos urbanos, se encuentran compuestos mayoritariamente por agua entre un 85% y un 92%. Su composición varía de acuerdo al tipo de materia orgánica, ya que se puede tener un combustible orgánico con una humedad entre el 8% y 15%, pero su valor promedio es del 12% tal como se puede apreciar en la Tabla 6 y en la Figura 42.

Tabla 6: Porcentaje de combustible orgánico obtenido del proceso.

Biomasa a procesar	Pérdida total de humedad	Biomasa Útil	Promedio de combustible orgánico
100%	88,34%	11,66%	12%

Fuente 25: Luis Ariel Riaño Ocampo.

Figura 42: Grafica del Porcentaje de Biomasa Útil



Fuente 26: Luis Ariel Riaño Ocampo.

El conjunto de procesos o tratamientos previos tienen tres objetivos fundamentales:

- Homogeneizar la entrada de biomasa en la caldera, de manera que la caldera reciba un flujo de energía constante y de valor similar.
- Disminuir la granulometría para aumentar la superficie específica. De hecho, cuanto menor sea el tamaño del grano mayor es la superficie para que puedan reaccionar el combustible y el comburente, con lo que se produce la aceleración de la reacción y se disminuye la cantidad de biomasa que no reacciona (inquemados).

- Disminuir la humedad que contiene, evitando que parte del calor liberado en la combustión se utilice como calor de vaporación del agua, disminuyendo la temperatura de los humos.

Todo ello debe hacerse además con el menor consumo de energía posible, ya que toda la energía consumida en estos procesos, a menos que sean energías residuales o energía que puedan utilizarse sin coste, supondrán una disminución de la energía neta generada por la planta.

Figura 44: Foto de la Biomasa en combustión.



Figura 43: Foto Núcleo de biomasa al rojo vivo.



Fuente 27: Luis Ariel Riaño Ocampo.

Como se puede apreciar en las Figuras 43 y 44, el combustible orgánico se encuentra en una reacción exotérmica, después de haber finalizado todas y cada una de las fases del proceso para su transformación en un combustible orgánico limpio y amigable con el medio ambiente. Toda la energía interna de los combustibles orgánicos obtenidos, se convierte en Poder calorífico (energía susceptible de liberarse a través de un proceso de combustión ordinario).

4.6 Tecnologías de recuperación de la energía de los residuos (WTE).

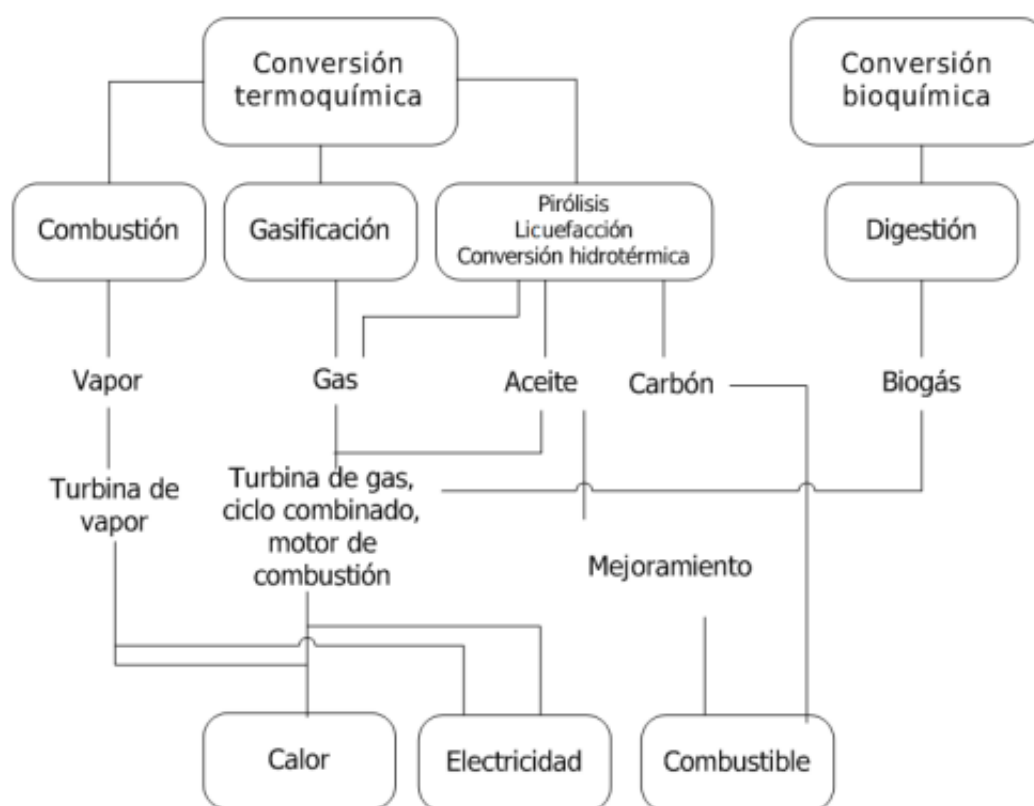
Se pueden separar los procesos de recuperación de la energía de los residuos en dos grupos: Conversión Biológica y Conversión Térmica.

4.6.1 Conversión biológica. Este proceso es efectuado por bacterias mediante el proceso de digestión anaerobia, donde la fracción orgánica de los residuos se descompone de manera natural en ausencia de aire. Este proceso ocurre en rellenos sanitarios (algunos controlados y otros no) donde se genera una mezcla de gases, conocida como biogás, cuyos dos componentes principales son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2).

4.6.2 Conversión térmica. El proceso térmico consiste en la conversión de los residuos sólidos orgánicos urbanos en productos gaseosos, líquidos y sólidos mediante reacciones químicas inorgánicas. La conversión térmica de los residuos puede darse de tres formas diferentes: combustión, gasificación y pirólisis (Ver Figura 45). En la combustión y en la gasificación la reacción química que se produce es exotérmica, lo que significa que se libera energía directamente. Sin embargo en la gasificación se obtiene un producto gaseoso con un poder calorífico remanente que luego podrá ser aprovechado en una combustión posterior. En la pirólisis, la reacción es endotérmica, pero se obtiene un gas derivado cuyo poder calorífico también puede aprovecharse en una combustión posterior.

Dentro de las tecnologías de conversión térmica la más popular y extensa en su uso es la incineración o quema en grilla / parrilla, luego está la gasificación por lecho fluido burbujeante, circulante y fijo.

Figura 45: Opciones de conversión de biomasa a formas secundarias de energía



Fuente 28: http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf

4.6.3 Créditos de carbono: El tratamiento de los residuos en una planta de recuperación de energía de los residuos o Waste-to-Energy (WTE), tiene una ventaja de ahorro en emisiones de metano frente al relleno sanitario, teniendo en cuenta que el metano (CH_4) tiene un potencial de generación de efecto invernadero 24 veces más potente que el anhídrido carbónico (CO_2). Por lo cual, por cada tonelada de residuos que se quema en la planta en lugar de ser enviada al relleno sanitario, se reduce su impacto en la generación de gases de efecto invernadero. Este hecho permite obtener recursos de la venta de certificados de reducción de emisiones con empresas internacionales inscritas en el Protocolo de Kyoto, que compran la reducción de emisiones en los países.

4.6.4 Gate-fee: El gate-fee consiste en una tasa que la municipalidad paga a las plantas de recuperación de energía de los residuos o Waste-to-Energy (WTE), por cada tonelada de residuos sólidos municipales (MSW por su sigla en inglés: Municipal Solid Waste) de la que se hacen cargo. Actualmente, los vertederos municipales tienen un cierto costo operativo, y la implantación de una planta WTE suplantaría la necesidad de enviar los residuos a un vertedero. Por lo tanto, podría tomarse un gate-fee igual al costo operativo de un vertedero como valor base. Es usual que se paguen montos mayores para fomentar las inversiones en plantas WTE como valor base.⁴²

4.7 Los bonos de carbono, una oportunidad para Colombia.

Los bonos de carbono son uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de gases de efecto invernadero. Pero ¿cómo funcionan? ¿Se emplean realmente? ¿Qué pueden aportar a Colombia?

4.7.1 ¿Qué son los bonos de carbono?

Los bonos de carbono tienen como objetivo ayudar a reducir los gases de efecto invernadero, principalmente en los países más contaminantes, los industrializados. Como su nombre indica, son bonos que se emplean en el Mercado del Carbono (hay dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado – para empresas y Gobiernos que obligatoriamente deben controlar sus emisiones – y los voluntarios), también conocidos como Certificados de Emisión Reducida (CER), equivalentes a una tonelada métrica de dióxido de carbono. Esto, llevado a la práctica, quiere decir que cada país tiene una cuota de Gases de Efecto

⁴² MORATORIO Diego, ROCCO Ignacio, CASTELLI Marcelo. Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. [En línea]. 1ª ed. Uruguay, 2012. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf

Invernadero (GEI) y que, si la rebasa, puede reducirla comprando bonos de carbono a otros países menos contaminantes. Esta dinámica no funciona sólo a escala de países, sino también entre empresas: si una empresa colombiana desarrolla un proyecto de disminución de emisiones de CO₂ de forma voluntaria y está interesada en vender su cuota a otra que esté obligada a reducir sus gases contaminantes en otro país, puede hacerlo sin problemas, a través del Mercado de Carbono. Los proyectos que reducen dichas emisiones suelen estar referidos a energía, transporte, agricultura, reutilización de residuos...

4.7.2 El papel de Colombia.

Colombia tiene un gran potencial en un mercado mundial de carbono: es el cuarto país de Hispanoamérica y el número doce del mundo en número de proyectos de MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) registrados ante la Organización de las Naciones Unidas (más de 190).

La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), hace unos años lanzó su 'proyecto sombrilla', para conseguir bonos de carbono a través de la captura y mitigación del metano a través del manejo de aguas residuales, para así demostrar que el sector palmero puede generar siete veces más energía de la que utiliza en su propio proceso.⁴³

⁴³ TWENERGY. LOS BONOS DE CARBONO, UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://twenergy.com/co/a/los-bonos-de-carbono-una-oportunidad-para-colombia-1534>

5. DESARROLLO DE LAS VARIABLES PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.

En este capítulo se muestra el sistema para el procesamiento de la biomasa desde la recolección de residuos sólidos orgánicos, también se realizara un planteamiento para separación en la fuente y se seguirá por las diferente etapas y fases del proceso para la generación del combustible orgánico.

5.1 Información disponible de la materia orgánica generada por los principales centros de acopio de productos agrícolas de la región.

5.1.1 Cooperativa COOMPRORIENTE

En la actualidad en la central de abastos de COOMPRORIENTE, se están generando aproximadamente 50 toneladas de residuos sólidos, mensualmente. Para la recolección de los residuos sólidos COOMPRORIENTE cuenta con un contratista independiente, que le presta el servicio de transporte al Relleno Sanitario Terrazas del Porvenir ubicado en la ciudad de Sogamoso, logrando de esta manera una reducción en el costo del transporte ofrecido por la empresa SERVIASEO DUITAMA S.A E.S.P. Los costos por tratamiento y disposición final, son pagados directamente al relleno sanitario Terrazas del Porvenir.

5.1.2 Serviaseo Duitama S.A E.S.P.

En la actualidad se aplica en el municipio de Duitama la metodología tarifaria contenida en la resolución CRA 720 de 2015.

La Ciudad de Duitama no cuenta con un sitio de Disposición Final registrado ante la Corporación Autónoma Regional de Boyacá Corpoboyaca y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en la cual puedan ser dispuestos los residuos para su aprovechamiento.

La cantidad de residuos generada en la Ciudad de Duitama para el año 2015 fue de 27.382,47 Toneladas, la cual abarca la operación de recolección y barrido.

5.1.3 El relleno sanitario para 44 municipios aledaños a Sogamoso...

Sogamoso les recibe residuos sólidos a Aquitania, Belén, Betétiva, Cerinza, Covarachía, Corrales, Cuítiva, Chiscas, Chita, Duitama, El Cocuy, El Espino, Firavitoba, Floresta, Gámeza y Guacamayas.

También a Güicán, Iza, Jericó, Labranzagrande, La Uvita, Mongua, Monguí, Nobsa, Paipa, Panqueba, Paya, Paz de Río, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, San Mateo, Sativanorte, Sativasur, Soatá, Socotá, Socha, Susacón, Tasco, Tibasosa, Tipacoque, Tópaga, Tota y Tutazá.

De estos municipios se dispusieron entre enero y octubre del 2013 más de 35.543 toneladas.⁴⁴

⁴⁴ REDACCIÓN BOYACÁ SIETEDÍAS. Quedó listo el relleno sanitario para 44 municipios de Sogamoso. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13397648>

Pero... ¿Qué hacer con las basuras? Es la pregunta que se hacen todas las Administraciones Municipales y empresas de aseo cada vez que se agota la capacidad de un relleno sanitario o sitio de disposición final de residuos sólidos.

La respuesta es simple; Valorización energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos, en la que en vez de enterrar la basura, se generará energía a partir de ella.

Lo anterior permitiría tener un Desarrollo Sostenible, el cual conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

Según la resolución CRA 720 de 2015 cita en su artículo 31 lo siguiente:

ARTÍCULO 31. Costo de alternativas a la disposición final: Podrán emplearse alternativas a la disposición final en relleno sanitario siempre y cuando éstas cuenten con los permisos y autorizaciones ambientales requeridas y el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el valor resultante de la suma del Costo de Disposición Final definido en el ARTICULO 28 y el Costo de Tratamiento de Lixiviados por escenario definido en el ARTICULO 32 por tonelada a pesos de diciembre de 2014. Dichos costos corresponden a la disposición final y tratamiento de lixiviados del municipio y/o distrito donde se pretenda emplear la alternativa.⁴⁵

⁴⁵ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. RESOLUCIÓN CRA 720 DE 2015. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: http://cra.gov.co/apc-aa-files/30653965346361386366633062643033/3.-resolucion-cra-720-de-2015-firmada_1.pdf

5.2 Estrategia Ambiental.

Colombia se ha destacado en América Latina, desde el punto de vista medioambiental. Se destaca con el SINA "Sistema Nacional Ambiental", el Ministerio de Ambiente, las leyes de servicios públicos y ahora con la que podría llegar a ser la tecnología que solucionaría el problema de las basuras, generando energía alternativa y a su vez tendría la posibilidad de ofrecer Certificados de Reducción de Emisiones.

Las ciudades colombianas, en especial sus capitales, que cuentan con sitios de disposición final, han tenido múltiples situaciones que han representado dificultad en cuanto al manejo ambiental de los residuos sólidos, al momento se han realizado ingentes esfuerzos para solucionar dichos problemas, por lo cual los operadores, han emprendido diversas acciones dentro de marco de ley, hacia la búsqueda de tecnologías y proyectos que permitan la disminución de la cantidad de residuos sólidos que llegan a los rellenos sanitarios.⁴⁶

Este proyecto, se convierte en un complemento esencial del programa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, en un país en donde el manejo de los residuos sólidos orgánicos urbanos es un problema, pues se cuenta con una solución definitiva, sin dejar pasivos ambientales a las generaciones futuras.

⁴⁶ CORPORACION AMBIENTAL PLANETA AZUL ONG. Una planta de generación de energía renovable, mediante el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos – RSU- por el sistema Termólisis®. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

5.2.1 Beneficios obtenidos por los rellenos sanitarios al implementarse este proyecto de valorización energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos - RSOU.

Se parte del hecho del gran beneficio ambiental obtenido, al evitar como primera medida, la contaminación de las fuentes de agua subterránea por el enterramiento de los residuos sólidos urbanos, lo cual genera la infiltración de líquidos lixiviados producidos por la materia orgánica en descomposición al tiempo que se producen gases conformados por metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 que son gases de efecto invernadero. Al evitarse estos impactos ambientales, con la valorización energética de los residuos sólidos orgánicos, se mejora la calidad de vida de las poblaciones que viven en cercanías a los rellenos sanitarios mejorando el impacto social de los rellenos sanitarios.

El procesamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos con el fin de obtener un combustible de la biomasa, permite tener ingresos generados por la venta de combustibles orgánicos. Otras ganancias se obtendrían de la reducción de los costos operativos del funcionamiento de los rellenos sanitarios y la eliminación del problema de la vida útil de los mismos.

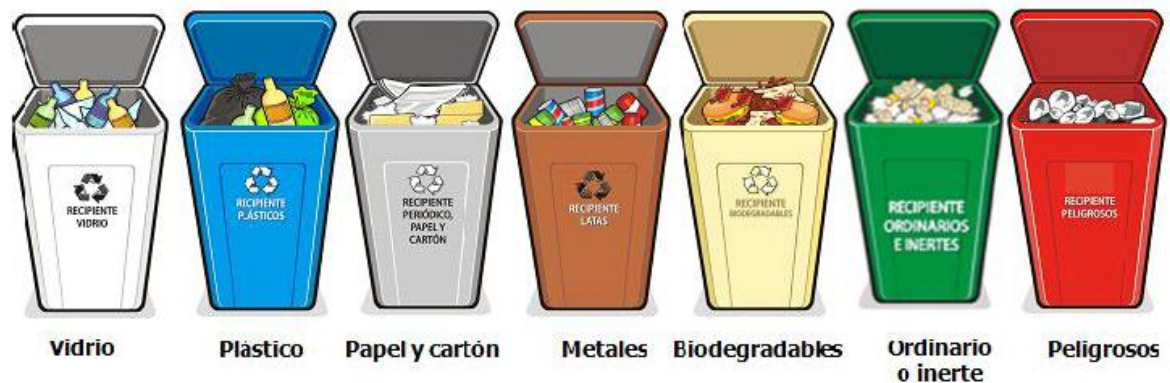
Además de los ingresos por las tarifas para aseo, se debe tener en cuenta un ingreso por los reusables recuperados y en un futuro, los ingresos por los Certificados de Reducción de Emisiones, pudiendo ofrecer al usuario y/o municipio, beneficios, que se podrían traducir en un menor valor en la tarifa de aseo.

5.2.1.1 Clasificación y destinación de las basuras sólidas.

El consumo de energía está muy ligado al desarrollo del ser humano, al igual que la producción de Residuos urbanos, tóxicos y peligrosos: entre más desarrollo, más consumo de energía y más producción de residuos.

Como se puede observar en la Figura 46, es una buena práctica separar los residuos en basura orgánica e inorgánica.

Figura 46: Código de Colores GTC 024 del ICONTEC



Fuente 29: <http://4.bp.blogspot.com/-kh8NeDh0gRM/VZsDZRpac1I/AAAAAAAAAG4/18yJF4Zo-zA/s1600/CODIGO.png>

La basura orgánica (residuos de alimentos) es potencial para convertirse en alimento vegetal y animal, compostaje, bio-abono y combustibles orgánicos.

Y la basura inorgánica (plástico, papel, cartón, vidrio, PET) es depositada en una fábrica recicladora. De acuerdo con los estándares de calidad las basuras se

recolectan en canecas marcadas verde para material orgánico o putrescible (frutas, vegetales, carnes); color amarillo: basura inorgánica o reciclable, aprovechable como materia prima en la industria (metales, vidrio, caucho, plásticos, catón, papel, trapos, compuestos de fique); color rojo para materiales peligrosos de hospitales, laboratorios, fábricas de químicos, pilas, baterías, drogas para incinerar.⁴⁷

La Legislación europea, Directiva Comunitaria 1999/31/CE de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos, determina que los residuos biodegradables (Biomasa), deben reducirse en los vertederos (rellenos sanitarios) así:

- Para el 16 de julio de 2006, hasta el 75% de la cantidad total en peso de lo generado en 1995.
- Para el 16 de julio de 2009, hasta el 50% de la cantidad total en peso de lo generado en 1995.
- Para el 16 de julio de 2016, hasta el 35% de la cantidad total en peso de lo generado en 1995.⁴⁸

⁴⁷ BLOGVILLAPINZON. MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PROCESOS DE RECICLAJE. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2012. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: <https://blogvillapinzon.wordpress.com/2012/12/10/manejo-adeecuado-de-residuos-solidos-y-procesos-de-reciclaje-2/>

⁴⁸ LEÓN Guillermo. SEMINARIO ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA. [Informe]. 1ª ed. Colombia, 2004. [Citado 23-08-2016]. Documento: Observatorio Colombiano de energía.

5.2.2 Composición de los residuos.

Se entiende por composición, a la descripción de los componentes de los residuos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes por peso. La información de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipo de los sistemas, programas y planes de gestión. No solamente es necesario conocer la cantidad de basura generada en las ciudades, sino también el análisis de la composición de los residuos sólidos es importante para hacer un manejo adecuado de esta.

Al igual que sucede con la cantidad de basura, a medida que las ciudades han desarrollado procesos industriales, la composición ha variado pasando de ser densa y completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos, lo que dificulta su manejo. Los porcentajes más altos de residuos los representan los alimentos, papel, cartón, la madera, los textiles y los plásticos, junto con los residuos de jardín, tal como se puede apreciar en la Tabla 7 y en la Figura 47. Estas cantidades dejan de ver en claro que las posibilidades de realizar una separación en la fuente en las ciudades pueden ser amplias.

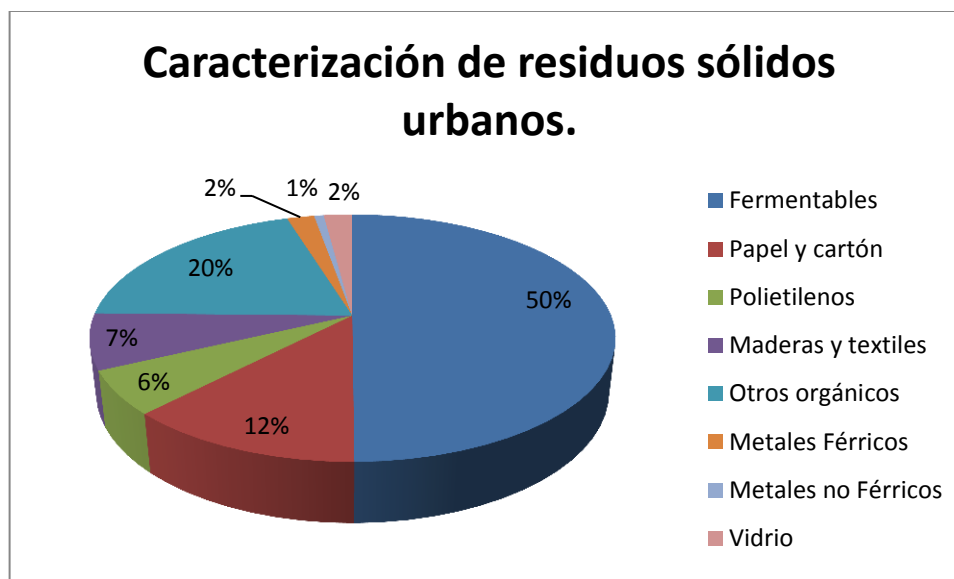
Tabla 7: Composición y caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos.

Tipo de Residuo	Descripción	% de Generación
Fermentables	Residuos orgánicos de la cocina.	49,90%
Papel y cartón	Restos de periódicos, hojas y cajas de cartón	12,40%
Polietilenos	Bolsas plásticas y recipientes plásticos	5,70%
Maderas y textiles	Parte sólida y fibrosa de los árboles, telas de ropa etc...	7,30%
Otros orgánicos	Residuos de jardín y podas de césped	19,90%
Metales Férricos	Hierros, aceros y fundiciones.	2%
Metales no Férricos	Aluminio, cobre, bronce, etc...	0,70%
Vidrio	Material inorgánico duro, frágil y transparente	2,10%
Total		100%

Fuente 30:

<http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

Figura 47: Grafica de la composición y caracterización de los residuos sólidos urbanos.



Fuente 31:

<http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

La composición y caracterización de los residuos sólidos urbanos, puede variar, de acuerdo con los estudios propios de cada sector de la ciudad, pero los cálculos aceptan una variación de \pm un 10%.

Ya que el aprovechamiento de los residuos sólidos se realiza posterior a su recolección diaria, por el corto tiempo de contacto del material líquido con el sólido, el bajo grado de fermentación que presenta el material orgánico, su presencia a temperatura ambiental, y la baja reactividad química de la mayor cantidad de residuos, no se pueden caracterizar los líquidos como material lixiviado.

La Comisión Reguladora -CRA para el servicio de aseo determina las condiciones del mercado, definiendo tamaño de los usuarios, condiciones de comercialización, formulas tarifarias, reglas de juego en cuanto a la competencia, límites de la posición dominante y en algunos casos, determinan áreas de uso exclusivo para el transporte y la recolección, más nunca para la disposición final o el aprovechamiento, ya que el mercado de los Servicios Públicos en Colombia, es de Libre Competencia, dentro del marco de Libertad Regulada.⁴⁹

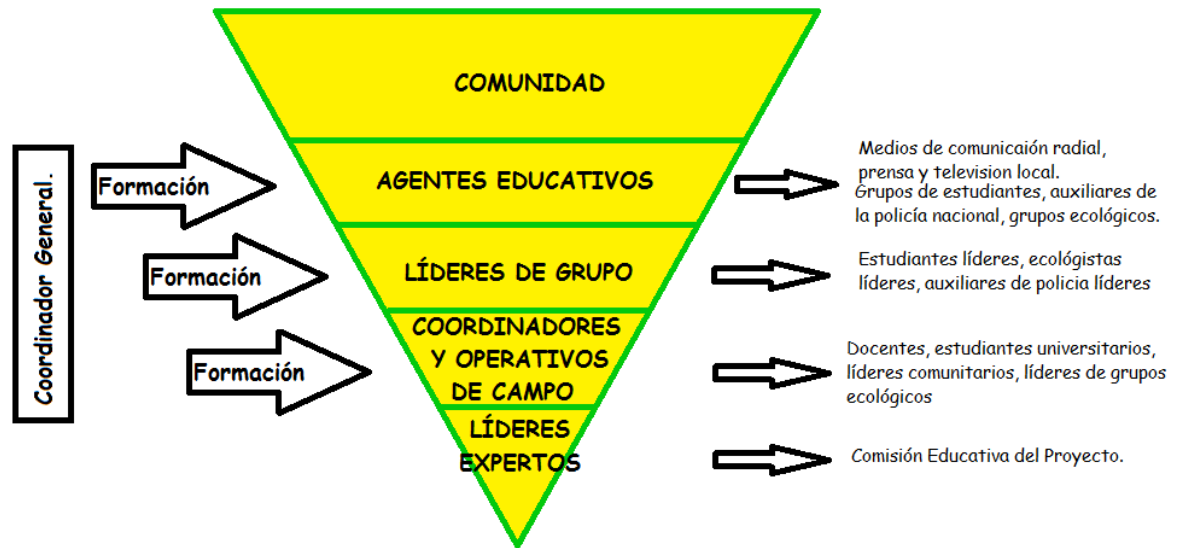
⁴⁹ CORPORACION AMBIENTAL PLANETA AZUL ONG. Una planta de generación de energía renovable, mediante el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos – RSU- por el sistema Termólisis®. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 23-08-2016]. Disponible en internet: <http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/Resumen%20Tecnico%20Financiero%20Proyecto%20Valle%20de%20Aburra%202015.pdf>

5.2.3 Estrategia del proyecto pedagógico de conciencia ambiental ciudadana.

Es de vital importancia, crear una conciencia ambiental ciudadana desde la primera infancia, pasando por la adolescencia, la juventud y la adultez. Para ello se recomienda crear programas especiales para la capacitación de cada una de las etapas de la vida del ser humano, utilizando como plataforma las escuelas, colegios y universidades, este se convertiría en el primer ciclo para lograr cambiar el paradigma en los hogares de cada uno de los niños, adolescentes y jóvenes. El segundo ciclo estaría compuesto por los estudiantes de último grado de todos los colegios públicos y privados incluyendo a sus docentes y a los auxiliares de la policía nacional, quienes se convertirían en una excelente plataforma para la divulgación del proyecto pedagógico de conciencia ambiental ciudadana en los principales puntos de alto tráfico de personas con el fin de reforzar el primer ciclo. Un tercer ciclo estaría compuesto por los grupos ecológicos y líderes comunitarios los cuales se encargarían de reforzar aún más los dos ciclos anteriores para lograr crear una conciencia ambiental ciudadana que ayude a comprender la importancia de realizar una separación en la fuente y los efectos que esto conllevaría en el calentamiento global, el cual es un tema que nos atañe a todos. Y como última instancia, se involucrarían los medios de comunicación radial, prensa y televisión local para transmitir a toda la comunidad el proyecto pedagógico de conciencia ambiental ciudadana.

En la Figura 48 se puede observar la estructura para la comunicación del proyecto pedagógico a toda la comunidad.

Figura 48: Estructura para la comunicación del proyecto pedagógico a toda la comunidad.



Fuente 32: Luis Ariel Riaño Ocampo.

5.3 Recolección y transporte de la materia orgánica.

De implementarse con éxito el proyecto pedagógico de conciencia ambiental ciudadana que busca la separación en la fuente de los residuos sólidos urbanos, se haría necesaria la utilización de un camión que única y exclusivamente se encargue de recoger los residuos sólidos orgánicos, para ser transportados hasta la planta procesadora donde recibirán su posterior tratamiento y transformación.

Es de vital importancia, lograr este cambio de paradigma en las personas, para que cada uno desde su casa aporte un granito de arena que pueda ayudar a contribuir a mitigar los efectos del calentamiento global, generados por la materia orgánica en descomposición en los rellenos sanitarios.

5.4 Almacenamiento y secado de la biomasa.

Al llegar la materia orgánica a la planta procesadora, esta trae un alto contenido de humedad, por lo cual, se le realiza un proceso de secado el cual consiste en la separación de la humedad de los sólidos por medio de una corriente de aire seco caliente con el objetivo de lograr una disminución superior al 85% de la humedad contenida en la biomasa, evitando de esta manera la formación de líquidos lixiviados.

Los equipos más utilizados por la industria para el secado de materia orgánica sólida, son secadores rotatorios, en los que se utiliza, por lo general de forma directa, aire seco caliente o vapor seco como agentes secantes. Estos equipos disponen de unas aspas interiores continuas que favorecen el avance del material y su mezcla con el agente secante. La eficiencia de estos equipos en condiciones normales de operación suele ser del 60-65%.

5.5 Secado de biomasa.

El secado de la materia orgánica es un proceso donde hay un intercambio de calor y masa entre el “fluido” de secado y el sólido a secar. De estos dos procesos dependerá la rapidez con la cual el secado se lleve a cabo. Los dos procesos, de intercambio de calor y masa, ocurren simultáneamente cuando un sólido húmedo es sometido al secado térmico, donde se ha de disponer de una fuente de calor que aporte un gas caliente y seco. La humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la

corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa. (Kasatkin. 1985).

Las sustancias húmedas pueden ser secadas mediante transferencia de calor, utilizando gases secos de diverso origen. En algunos casos el material va a tolerar ser secado por gases calientes producto de procesos de combustión, o de gases no contaminantes como lo es el aire seco caliente.

El secado depende de seis factores principales: La velocidad del gas, el contenido de oxígeno, la humedad relativa dentro de la cámara, la temperatura de la misma, el tiempo de residencia del material y el consumo de energía.

La velocidad del gas: La fase gaseosa es el medio encargado de transportar la humedad que despiden las superficies de las materias. A mayor velocidad aumenta la capacidad de arrastre.

Contenido oxígeno: Se entiende por contenido de oxígeno la cantidad, en volumen, de oxígeno presente en el gas de secado. Si se emplea aire, este tiene un contenido en oxígeno del 21% en volumen y si se utilizan gases procedentes de un motor de cogeneración, por ejemplo, el porcentaje de oxígeno suele estar alrededor del 14%, al tener una importante proporción de CO₂. Este parámetro es de control porque si se aplican grandes flujos de corriente gaseosa esto supone elevadas velocidades de transporte, muchos choques en el interior del secadero (alta fricción) y, obviamente, por la gran cantidad de oxígeno estos sistemas son propensos a tener incendios y/o explosiones.

La humedad relativa: Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el gas y la máxima cantidad que puede contener a la misma

temperatura. Si se aumenta la temperatura, aumenta la capacidad del gas de contener vapor de agua, lo que quiere decir que puede absorber mayor cantidad de vapor de agua de la sustancia. Igualmente si se extrae vapor de agua del gas, se baja su humedad relativa y aumenta la capacidad de sacar vapor del compuesto. A una humedad relativa dada, hay un valor de equilibrio de la humedad del material, de allí ya no pierde más humedad.

La temperatura: Como ya se ha dicho la temperatura afecta al valor de la humedad relativa del aire y por lo tanto la capacidad del mismo de extraer humedad. También aumenta la velocidad de las moléculas de agua y favorece el proceso de vaporización.

Tiempo de residencia: El tiempo de residencia de los sólidos en el interior del secadero es una consecuencia del sistema de secado. Técnicamente es el preciso para eliminar toda el agua.

Consumo energético: Se realiza un aprovechamiento de la energía solar térmica mediante el uso de colectores solares planos de alta temperatura los cuales logran llegar hasta los 200 °C aun con las relativamente altas pérdidas de calor a través del cristal.⁵⁰ Existen unas demandas energéticas en el proceso, que implican energía que es necesario suministrar, de la misma forma, hay unas ofertas energéticas que es energía que se libera en el proceso y puede ser aprovechada.

5.5.1 Secado directo o por convección: Los secaderos directos transfieren el calor por contacto del producto con un gas calentado, normalmente aire seco caliente.

⁵⁰ Wikipedia. Energía Termosolar de concentración. [En línea]. Modificado por última vez el 1 de agosto de 2016. [Citado 16-08-2016]. Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_t%C3%A9rmica

5.5.2 Secado a alta temperatura: En este sistema el material es sometido a temperaturas de 200 °C en un túnel de secado continuo, donde el calor necesario se aporta con sistemas de colectores solares planos de alta temperatura, con el que se consigue un material con humedad final inferior al 15% y el residuo del proceso es vapor de agua.

También se pueden utilizar sistemas de cogeneración y aprovechar el calor residual de los motores de combustión.⁵¹

5.5.3 Secadores rotatorios: Consiste en una coraza cilíndrica sostenida sobre engranes, de manera que pueda girar sobre su propio eje. Tiene una tubería que impulsa a los sólidos alimentados para que fluyan hasta la salida del secador al mismo tiempo que los remueve para lograr un mejor secado de los mismos. El secador rotatorio constituye una de las formas más ampliamente utilizadas para el secado, de una amplia gama de materiales, a nivel industrial, en forma rápida y con bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades. En este tipo de secador, el material húmedo es continuamente elevado por la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire seco caliente que circula a lo largo de la carcasa del secador. El flujo de aire puede ser tanto en paralelo como en contracorriente.⁵²

De manera conjunta, este tipo de secadores cuentan con equipos para los sistemas de purificación del aire, lo cual reduce los olores de la biomasa

⁵¹ Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y alimentación. Secado Térmico. [En línea]. 1ª ed. 2013. [Citado 15-08-2016]. Disponible en internet: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-TERMICO.pdf>

⁵² PROCESOS BIO. Secado. [En línea]. 1ª ed. 2016. [Citado 16-08-2016]. Disponible en internet: <http://procesosbio.wikispaces.com/Secado>

empleada, aunque a veces, para maximizar la reducción de olores, puede ser preciso un sistema de tratamiento biológico del aire.

5.6 Triturado de la biomasa.

Luego de ser secada la biomasa, pasa a ser triturada para obtener unas partículas más pequeñas que nos permitirán, la adecuación del tamaño y la uniformidad de la biomasa, al objeto de uniformizar las condiciones de entrada en la caldera y conseguir la mayor eficiencia del sistema de combustión.

Al disminuir su granulometría aumenta su superficie específica. De hecho, cuanto menor sea el tamaño del grano mayor es la superficie para que puedan reaccionar el combustible y el comburente, con lo que se produce la aceleración de la reacción y se disminuye la cantidad de biomasa que no reacciona (inquemados) (Ver Figura 49).

Figura 49: Foto del Combustible Orgánico.



Fuente 33: Luis Ariel Riaño Ocampo

5.7 Poder calorífico de la biomasa obtenida.

Como se puede apreciar en la Tabla 8, según El Atlas de Biomasa Residual en Colombia, elaborado por la UPME, los residuos sólidos orgánicos urbanos, poseen un poder calorífico inferior de 3.772 [Kcal/Kgr].

Tabla 8: Poder calorífico inferior para biomasa residual en Colombia.

Sector	Fuente de biomasa	Tipo residuo	PCI [Kcal/kg]
Agrícola	Palma de aceite	Cuesco	3.988
		Fibra	4.274
		Raquis	4.021
	Caña de azúcar	Rac	3.684
		Bagazo	4.456
	Caña para panela	Bagazo	4.456
		Hojas secas	4.007
		Rac	3.684
	Café	Pulpa	4.259
		Cisco	4.430
		Tallos	4.384
	Maíz	Rastrojo	3.429
		Tusa	3.390
		Capacho	3.815
		Hojas secas	4.274
	Arroz	tamo	3.113
		Cascarilla	3.603
	Banano	Raquis	1.809
		Vástago	2.032
		Rechazo	2.488
Pecuario	Avícola	Ponedoras	2.248
		Engorde	3.645
	Bovino	Leche	2.801
		Doble propósito	3.680
		Carne	3.783
	Porcino	Tecnificado	6.049
		No tecnificado	4.163
RSOU	Plaza mercado	Sólido orgánico	3.772
	Centro acopio	Sólido orgánico	3.772
	Poda	Sólido orgánico	3.772

Fuente 34:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf

5.7.1 Potencial energético de la biomasa en Colombia.

En la Tabla 9, según El Atlas de Biomasa Residual en Colombia, elaborado por la UPME, se puede apreciar el potencial energético de la biomasa residual orgánica urbana, en las principales ciudades de Colombia, destacándose la ciudad de Bogotá, con un potencial energético de 35.96 [TJ/año].

Tabla 9: Potencial energético municipal de la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado.

Departamento	Población ¹	Entidad suministradora de información	Cantidad anual de residuo	Potencial energético [TJ/año] ²
Bogotá ³	7.952.375	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos	36.912	35,96
Medellín ⁴	3.306.490	Empresas Varias	15.754	11,70
Cali ⁵	2.593.563	Emsirva	19.451	17,74
Barranquilla ⁶	1.737.327	Triple A	9.770	5,18
Bucaramanga ⁷	1.024.350	Empresa de Aseo de Bucaramanga	9.812	2,00
Cartagena ⁸	892.545		1.365	0,87
Cúcuta ⁹	587.676	Proactiva del Oriente S.A. E.S.P.	4.869	0,99
Ibagué ¹⁰	498.401	Interaseo del sur	8.531	8,30
Pereira ¹¹	443.554	Empresa de Aseo de Pereira E.S.P.	1.793	1,33
Villavicencio ¹²	384.131	Llanabastos	1.817	0,81
Manizales ¹³	379.972	Empresa Metropolitana de Aseo	3.676	2,73
Montería ¹⁴	378.970	Servigenerales S.A. E.S.P.	6.455	4,11
Total			120.210	91,72

Fuente 35:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia_.pdf

5.7.2 Potencial energético de los residuos de podas en Colombia.

En la Tabla 10, según El Atlas de Biomasa Residual en Colombia, elaborado por la UPME, se puede apreciar el potencial energético de la biomasa residual orgánica urbana de las podas de árboles y césped, de las 10 ciudades principales en Colombia, productoras de residuos de podas.

Tabla 10: Potencial energético municipal de la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de poda.

Ciudad	Entidad suministradora de información	Cantidad anual de residuo [t/ año]	Potencial energético [TJ/año]
Bogotá	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos	7892	53,95
Medellín ¹	Empresas Varias	7.156	25,89
Cali	Emsirva	2.232	14,76
Barranquilla	Triple A	1.988	26,10
Bucaramanga	Empresa de Aseo de Bucaramanga	5.037	23,52
Cartagena	Proactiva del Oriente S.A. E.S.P.	7.922	103,97
Cúcuta	Proactiva del Oriente S.A. E.S.P.	4.212	19,66
Ibagué	Interaseo del Sur	3.685	25,19
Manizales	Empresa Metropolitana de Aseo	3.832	13,86
Montería	Servigenerales S.A. E.S.P	855	11,23
Total		44.811	318,13

Fuente 36:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf

5.7.3 Análisis comparativo entre el potencial energético generado por los residuos sólidos orgánicos urbanos y los residuos sólidos orgánicos de restos de podas

En la Tabla 11, según El Atlas de Biomasa Residual en Colombia, elaborado por la UPME, se puede apreciar una tabla comparativa entre el potencial energético generado por los residuos sólidos orgánicos urbanos y los residuos sólidos orgánicos de restos de podas en 12 ciudades de Colombia, para lo cual, los restos de podas generan 318.13 [TJ/año], contra 91.72 [TJ/año] generados por la biomasa residual orgánica urbana en Colombia.

Tabla 11: Potencial energético para la biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos para doce ciudades de Colombia.

Actividad	Población [habitantes]	Cantidad anual de residuo [t/año]	Potencial energético [TJ/año]
Centros de abasto y plazas de mercado	20.179.354	120.210	91,72
Poda		44.811	318,13
Total		165.021	409,85

Fuente 37:

http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Del estudio y análisis del proyecto se extraen las siguientes conclusiones:

- A pesar del alto contenido de agua de la materia orgánica, el cual se encuentra en un promedio del 90%, es viable económica y ambientalmente el tratamiento y procesamiento de los desechos sólidos urbanos.
- El procesamiento de la basura orgánica, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero de dos maneras diferentes:

Primero, elimina el metano que se forma al arrojar la basura en los vertederos. Esto es importante ya que el metano tiene una potencia de calentamiento 24 veces superior al CO₂ (Dióxido de carbono).

Segundo, la energía térmica generada, con la cual se genera energía eléctrica, desplaza otras fuentes de energía más contaminantes, tales como el carbón o el petróleo, las cuales liberan depósitos de gases de efecto invernadero.

- Crear una cultura de conciencia ciudadana para la separación en la fuente, en la que todos aportan para un mejor nivel de vida de las generaciones presentes y futuras, conllevaría a mitigar uno de los mayores problemas ambientales, el cual son las basuras sólidas urbanas.

- Con la implementación de este proyecto se lograría alargar la vida útil de los rellenos sanitarios, ya que al realizarse un esquema de separación en la fuente de las basuras solidas urbanas, se lograría que menos del 10% de los residuos terminen en el relleno sanitario, los cuales no estarían en la capacidad de generar contaminación con gases de efecto invernadero.
- La utilización del combustible orgánico, no estaría contribuyendo al aumento de los niveles de CO₂ (Dióxido de carbono) en la atmosfera, ya que el CO₂ liberado durante el proceso de combustión de la biomasa, es el mismo que fue absorbido de la atmosfera por esta misma materia orgánica durante su proceso de formación.
- Para obtener el mismo poder calorífico que se obtendría de una tonelada de carbón bituminoso, es necesario utilizar dos toneladas de combustible orgánico.
- El procesamiento de la materia orgánica y su posterior aprovechamiento energético, permitiría ingresar al mercado de los bonos de carbono.
- La biomasa, es una fuente de energía renovable que puede entrar a la canasta energética del mundo.
- Si la biomasa se consume de manera sostenible, el ciclo del carbono se cierra y el nivel de CO₂ a la atmósfera se mantiene constante, de forma que su utilización no contribuye a generar el cambio climático.

6.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio que pueda llevar al menor tiempo posible de permanencia de los residuos sólidos orgánicos urbanos en la descomposición anaeróbica para la obtención de gas metano.
- Realizar una investigación para la obtención de alcoholes carburantes a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos.
- Estudiar las posibilidades de la obtención de hidrocarburos similares al diésel a partir de biomasa residual.
- Estudiar las características de procesamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos, para la obtención de bio-abonos.
- Realizar una investigación para la obtención de biofertilizantes a partir de los residuos sólidos orgánicos urbanos.
- Realizar un estudio económico para el montaje de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos, que permita la valorización energética de la biomasa residual.
- La implementación de este proyecto en los rellenos sanitarios, alargaría su vida útil al tiempo que se estaría previniendo la contaminación de fuentes de agua subterránea por filtración de lixiviados, de igual manera se evitaría la generación de gas metano y dióxido de carbono.

BIBLIOGRAFIA

ANONIMO. El ciclo del carbono. [En línea]. 1ª ed. Desconocido, XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.kyotoinhome.info/ES/sustainable_energy/carbon_cycle.htm

ATOM. Centrales Térmicas de Biomasa. [En línea]. 1ª ed. España, 2009. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://centralese.blogspot.com.co/2009/02/centrales-termicas-de-biomasa.html>

Autor No Especificado. Conceptos básicos de neumática e hidráulica. [En línea]. 1ª ed. [Citado 02-04-2016]. Disponible en internet: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica5.htm>

Bioenergy Crops. La biomasa en Colombia gana viabilidad con la nueva ley de renovables. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://bioenergycrops.com/es/2014/01/20/biomasa-en-colombia-ley-renovables/>

BLOGVILLAPINZON. MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PROCESOS DE RECICLAJE. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2012. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: <https://blogvillapinzon.wordpress.com/2012/12/10/manejo-adecuado-de-residuos-solidos-y-procesos-de-reciclaje-2/>

Congreso de Colombia. Ley 1715 13 mayo 2014. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Escalante Hernández Humberto, Orduz Prada Janneth, Zapata Lesmes Henry Josué, Cardona Ruiz María Cecilia, Duarte Ortega Martha. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2009. [Citado 30-05-2016]. Disponible en internet: http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia____.pdf

GARCÍA, Rafa. Este es un nuevo máximo histórico propiciado por la misma humanidad. [En línea]. 1ª ed. Desconocido, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <https://www.fayerwayer.com/2013/05/los-niveles-de-dioxido-de-carbono-llegan-a-400-partes-por-millon-en-el-mundo/>

GARCÍA, Santiago. CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE BIOMASA. [En línea]. 1ª ed. España, XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.plantasdebiomasa.net/>

GENSA. Gestión sostenible 2014. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.gensa.com.co/psw/wp-content/uploads/2015/03/Gestion_Sostenible_2014_GENSA.pdf

ICOGEN. BIOMASA, APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO. [En línea]. 1ª ed. Barcelona. XX. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://icogensa.com/energ%C3%ADas-renovables/biomasa,-aprovechamiento-energ%C3%A9tico.html>

LEÓN Guillermo. SEMINARIO ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN COLOMBIA. [Informe]. 1ª ed. Colombia, 2004. [Citado 23-08-2016]. Documento: Observatorio Colombiano de energía.

MASERA Omar, CORALLI Fabio, GARCÍA Carlos, RIEGELHAUPT Enrique, ARIAS Teresita, VEGA Julián, DÍAZ Rodolfo, GUERRERO Gabriela, CECOTTI Laura. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectivas. [En línea]. 1ª ed. México, 2011. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

PRICE, Matthew. Cómo Noruega convierte basura en combustible ecológico. [En línea]. 1ª ed. Oslo: BBC, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/09/130923_ciencia_noruega_basura_energia_ng.shtml

MELIN, Gustav. La biomasa sobrepasa al petróleo en Suecia, en 2009. [En línea]. 1a ed. Suecia: Expobioenergia, 2009. [Citado 15-08-2015]. Disponible en internet: <http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/la-bioenergia-sobrepasa-al-petroleo-en-suecia-255>

ROCA, José A. Las 10 mayores plantas de Biomasa. [En línea]. 1a ed. España: El Periódico de la Energía. 2016. [Citado 27-02-2016]. Disponible en internet: <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. RESOLUCIÓN CRA 720 DE 2015. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: http://cra.gov.co/apc-aa-files/30653965346361386366633062643033/3.-resolucion-cra-720-de-2015-firmada_1.pdf

TELAM. Misión a Suecia para promover proyectos y buscar inversiones en bioenergía. [En línea]. 1a ed. Argentina: 2014. [Citado 27-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.telam.com.ar/notas/201406/66267-mision-a-suecia-para-promover-proyectos-y-buscar-inversiones-en-bioenergia.html>

MORATORIO Diego, ROCCO Ignacio, CASTELLI Marcelo. Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. [En línea]. 1ª ed. Uruguay, 2012. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf

Naciones Unidas. CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. [En línea]. 1ª ed. Nueva York, 1992. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas. PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. [En línea]. 1ª ed. Kyoto, 1997. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Puerto Efraín A. Propiedades termodinámicas del agua saturada. [En línea]. 1ª ed. Colombia. 2014. [Citado 21-04-2016]. Disponible en internet: <https://efraipuerto.wordpress.com/2011/06/27/f1-4/>

REDACCIÓN BOYACÁ SIETEDÍAS. Quedó listo el relleno sanitario para 44 municipios de Sogamoso. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 06-03-2016]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13397648>

Redacción de El País. Fiebre de bionegocios en el Valle del Cauca, ¿de qué se trata?. [En línea]. 1ª ed. Colombia; El País, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/hay-fiebre-bionegocios-valle-cauca-trata>

RINCÓN, José M. Uso de biomasa en la generación de energía térmica y eléctrica. [Informe]. 1ª ed. Colombia, Autor, 2015. [Citado 28-02-2016]. Documento: Acolgen Octubre 2015 TECSOL.

RINCÓN, José M. Uso de biomasa en la generación de energía térmica y eléctrica. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://www.acolgen.org.co/owncloud/index.php/s/oVA9atWleeVtaYG>

TWENERGY. LOS BONOS DE CARBONO, UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2014. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://twenergy.com/co/a/los-bonos-de-carbono-una-oportunidad-para-colombia-1534>

UPME. INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO – MARZO DE 2015 SUBDIRECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA – GRUPO DE GENERACIÓN. [En línea]. 3ª ed. Colombia, 2015. Disponible en internet: http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento_Variables_Marzo_2015.pdf

UPME. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf

CADENA, Ángela. RODRÍGUEZ, Alberto. HERRERA, Beatriz. GARCÍA, Carlos. CÁRDENAS, Sara. MOJICA, Sandra. BRICEÑO, Roberto. BEJARANO, Juan. PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050. [En

línea]. 1ª ed. Colombia, 2015. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf

UPME. Plan Energético Nacional Contextos y Estrategias 2006-2025. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2006. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=39201284>

WIKIMEDIA ARGENTINA. Humedad del aire. [En línea]. Fue modificado el 15 de marzo de 2016. Argentina, 2016. [Citado 09-04-2016]. Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad_del_aire#cite_ref-1

GARCÍA, Helena. CORREDOR, Alejandra. CALDERÓN, Laura. GÓMEZ, Miguel. Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. [En línea]. 1ª ed. Colombia, 2013. [Citado 28-02-2016]. Disponible en internet: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf

SANZ, David. En Suecia se produce más energía procedente de biomasa que de petróleo. [En línea]. 1ª ed. 2010. [Citado 15-Noviembre-2015]. Disponible en internet: <http://www.ecologiaverde.com/en-suecia-se-produce-mas-energia-procedente-de-biomasa-que-de-petroleo/>

EL OCCIDENTAL. La basura del DF produciría electricidad para 40 mil casas. [En línea]. 1ª ed. México: El Occidental. 2012. [Citado 23-Febrero-2016]. Disponible en internet: <http://www.oem.com.mx/eloccidental/notas/n2390398.htm>

Ingolf Plath. Canadian puregas equipment limited. [En línea]. 1ª ed. Canadá: 1996. [Citado 24-Febrero-2016]. Disponible en internet: <http://www.canadianpuregas.com/commS.htm>